खगोलशास्त्राचे विश्व

जयंत विष्णू नारळीकर



महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ, मुंबई

खगोलशास्त्राचे विश्व

आधुनिक खगोलशास्त्र आणि विश्वरचनाशास्त्र ह्या विषयांचा संक्षिप्त आढावा

जयंत विष्णु नारळीकर

टाटा इन्स्टिट्यूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च, मुंबई



महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ, मुंबई

प्रकाशकांचे निवेदन

मराठी भाषेला आणि साहित्याला आधुनिक ज्ञानविज्ञानाच्या व सांस्कृतिक मूल्यांच्या अविष्काराचे सामर्थ्य प्राप्त व्हावे; आधुनिक शास्त्रे, ज्ञानविज्ञाने, तंत्र आणि अभियांत्रिकी त्याचप्रमाणे भारतीय प्राचीन संस्कृती, इतिहास, कला इत्यादी विषयांत मराठी भाषा सर्वच स्तरांवर ज्ञानदान करण्यास समर्थ व्हावी आणि मराठी भाषेला जगात उच्च स्थान मिळावे, या उद्देशाने महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळाने बहुविध वाङ्मयीन व सांस्कृतिक कार्यक्रम आखला आहे. तो व्यवस्थितपणे कार्यवाहीत आणण्याकरिता वाङ्मय, ललितकला, समाजविज्ञान, विज्ञान, इतिहास इत्यादी विषयांवरील प्रकल्प साकार करण्यासाठी, तसेच मराठी वाङ्मयकोश व शब्दकोश इत्यादी योजनाचे नियंत्रण व मार्गदर्शन करण्यासाठी मंडळाने विविध समित्या स्थापन केल्या आहेत.

याचदृष्टीने सर्वसामान्य माणसाला उपयुक्त होतील अशी विज्ञान विषयक पुस्तके प्रकाशित करणेही आवश्यक आहे असे मंडळाला वाटते. मंडळाच्या या धोरणानुसार मंडळाच्या विज्ञान समितीने सर्वसामान्य लोकांसाठी विज्ञानविषयक पुस्तके लिहून घेण्याची योजना आखली आहे. यामुळे सामान्य जनांमध्ये वैज्ञानिक दृष्टीकोन निर्माण होऊन त्यांच्या दैनंदिन जीवनात येणाऱ्या वैज्ञानिक गोष्टींची त्यांना केवळ ओळखच होणार नाही तर आजचे विज्ञान रंजक व वाचनीय पद्धतीने त्यांना उपलब्ध पण होईल. शहरी भागाबरोबरच ग्रामीण भागातही पुस्तके पोहोचली पाहिजेत अशी या मंडळाची धारणा आहे. यासाठी मंडळाने प्राणीसृष्टीतील नवल, अनुवंशिकी, शेतकऱ्यांचे जीवन उजळून टाकणारा गोबर गॅस, आपला सूर्य, अणुशक्ती आणि अण्वस्त्रे यांचा परस्पर संबंध, जीवरक्षके (ॲण्टीबायोटिक्स), निसर्ग आणि वनस्पती, कापडांवरील विविध प्रक्रिया, दैनंदिन व्यवहारातील विज्ञान इत्यादी विविध विषयांवर पुस्तके प्रकाशित करण्याचे योजिले आहे. खगोलशास्त्रही विज्ञानाचा एक भाग आहे. आदिमानवाने आकाशाकडे दृष्टीक्षेप करून सूर्य, चंद्र, तारका इत्यादींकडे कुतुहलाने पाहिले तेव्हाच खगोलशास्त्राची सुरुवात झाली. अतिप्राचीन काळापासून आकाशातील चमत्कारांकडे मानवाचे लक्ष लागले आहे. परंतु खगोलशास्त्रविषयक गूढ उकलण्यास मान-

वाला बरेच दिवस लागले. १८५० किंवा १८६० पर्यंत मराठीत असणारी खगोलशास्त्र-विषयक पुस्तके केवळ विद्यार्थ्यांकरिता लिहिलेली होती. परंतु १८९२ मध्ये मात्र कै. शंकर बाळकृष्ण दीक्षित यांचा 'ज्योतिर्विलास' हा सामान्य माणसाला आवडेल असा रसाळ आणि लालित्यपूर्ण शास्त्रीय ग्रंथ प्रसिद्ध झाला. मराठी विज्ञान लेखनातील याच परंपरेचा मागोवा घेत खगोलशास्त्रावरील महत्त्वाची पुस्तके मंडळाने प्रकाशित करण्याचे ठरविले आणि कै. शि. ग. पवार लिखित 'ग्रहगती सिद्धांत', प्रा. गो. रा. परांजपे लिखित 'सृष्टिज्ञान आकाशदर्शन अॅटलास', कै. द. वे. केतकर लिखित 'ग्रहगणित मालिका' इत्यादि पुस्तके प्रकाशित केली.

गेल्या ५० वर्षात खगोलशास्त्राने फार मोठी प्रगती केली आहे. या सर्व प्रगतीचे आलोकन अधिकारी माणसाकडून करून घेऊन जनसामान्यांपर्यन्त पोचवण्याची मंडळाची इच्छा होती. डॉ. जयंत नारळीकर यांच्या 'खगोलशास्त्राचे विश्व' या पुस्तकाच्या रूपाने मंडळाची वरील इच्छा साकार होत आहे. डॉ. जयंत नारळीकर यांचा हा ग्रंथ जनतेला सादर करण्यास आम्हाला अत्यंत आनंद होत आहे.

मुंबई,
विजयादशमी, आश्विन 16, शके, 1903,
गुरुवार, दिनांक 8 ऑक्टोबर, 1981.

सुरेंद्र बारलिंगे
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ

अनुक्रमणिका

लेखकाचे निवेदन

खगोलशास्त्र ह्या विषयात गेल्या तीन दशकांत विलक्षण प्रगती झालेली दिसून येते. दुसऱ्या महायुद्धानंतर विज्ञान आणि तंत्रज्ञान यांच्या झपाट्याने झालेल्या वाढीचा फायदा खगोलशास्त्रज्ञाला मिळत गेला हे त्याचे कारण. आधुनिक तंत्रज्ञानावर आधारलेल्या वेधांच्या अनेक उपकरणांमुळे खगोलशास्त्रज्ञाच्या विश्वाबद्दलच्या माहितीच्या साठ्यात दिवसेंदिवस वाढ होत आहे. आणि त्या माहितीचा अर्थ लावण्यातही आधुनिक नियमांचा वापर करून खगोलशास्त्रज्ञाने बरेच यश मिळवले आहे. खगोलशास्त्रीय संशोधनाला वाहिलेली नियतकालिके चाळली की ह्या गोष्टींची कल्पना येते.

प्रगत देशात ही वाढ केवळ संशोधन प्रबंधापर्यंतच मर्यादित नाही. खगोलशास्त्रीय संशोधनांची माहिती सोप्या भाषेत सुशिक्षित जनसामान्यापर्यंत पोचवणारी अनेक पुस्तके अशा देशात दर वर्षी प्रसिद्ध होतात. आणि अशी पुस्तके लिहिण्याचे काम नाणावलेल्या शास्त्रज्ञांनी केलेले दिसते. अशा तऱ्हेची 'अतांत्रिक' पुस्तके लिहिण्याची प्रथा पाश्चात्य देशांत कित्येक दशकांपासून आहे. सर आर्थर एडिंगट्न आणि सर जेम्स जीन्स ह्यांची पुस्तके पन्नासवर्षांपूर्वीच्या काळात गाजली होती. खुद्द आलबर्ट आइन्स्टाइन याने स्वतःचे सापेक्षतावादावरचे संशोधन सोप्या भाषेत सांगणारी पुस्तके लिहिली आहेत. आज तोच वारसा सर फ्रेड हॉयेल सारखे खगोलशास्त्रज्ञ पुढे चालवत आहेत.

भारतात मात्र अशा प्रकारची पुस्तके प्रांतीय भाषांतून फारच कमी दिसून येतात. विज्ञानाच्या अनेक शाखांपैकी खगोलशास्त्र हा विषय असा आहे की ज्याबद्दल जनसामान्यात कुतुहल असते. ते कुतूहल विज्ञाननिष्ठ करण्याची जबाबदारी भारतातील शास्त्रज्ञांची नव्हे काय ? जर कुतूहलाला योग्य दिशा योग्य वेळी दाखवली नाही तर ते अंधश्रद्धेच्या दिशेने वळण्याचा संभव असतो हे विसरता कामा नये. फलज्योतिष हे अशाच अंधश्रद्धेतून जन्माला आले आहे.

इंग्रजीत फलज्योतिषाला 'ॲस्ट्रॉलजी' म्हणतात, आणि खगोलशास्त्राला 'ॲस्ट्रॉनमी' म्हणतात. मराठीत 'ॲस्ट्रॉनमी' चे भाषांतर ज्योतिष्शास्त्र असे देखील करतात. परंतु मी हा शब्द कटाक्षाने टाळला आहे. कारण ह्या शब्दाचा अनेक वेळा चुकीने फल ज्योतिषाशी

संबंध जोडण्यात येतो. खुद्द इंग्रजीतील 'ॲस्ट्रॉनमी' आणि 'ॲस्ट्रॉलजी, ह्या शब्दांतील साम्यामुळे सुद्धा असा गोंधळ होतो. 'खगोलशास्त्र' हा शब्द वापरल्यामुळे अशा प्रकारचा घोटाळा होणार नाही.

खगोलशास्त्र म्हणजे 'डोळ्यांनी आकाशातील तारका पाहणे इतकेच' असाही गैरसमज जनसामान्यात अनेक वेळा दिसून येतो. जरी ह्या विषयातील सुरवातीचे शोध मानवी डोळ्यां-द्वारे केलेल्या निरीक्षणांवर आधारलेले होते तरी नंतर डोळ्यांची जागा यंत्रांनी घेतली. आधुनिक वेधात्मक खगोलशास्त्र हे जवळ जवळ शंभर टक्के यंत्रावलंबी झाले आहे.

असे असले तरी वेधांतून मिळालेल्या माहितीचा अर्थ लावण्याचे काम मानवाकडेच येते. वैज्ञानिक नियमांचा आधार घेऊन खगोलशास्त्रीय वेधांची कारणमीमांसा करण्याच्या प्रयत्नांतून सैद्धांतिक खगोलशास्त्र जन्माला आले. आणि ह्या विषयात आपल्याला वैज्ञानिक नियमांची व्याप्ती केवढी आहे याचा प्रत्यय येतो. जे नियम पृथ्वीवरील प्रयोगशाळांतून सापडले ते नियम अब्जावधी प्रकाश वर्षे अंतरापर्यंत पसरलेल्या विश्वाला पण लागू पडू शकतात हे पाहून अचंबा वाटतो.

मराठीत वेधात्मक खगोलशास्त्रावर पुस्तके आहेत. महाराष्ट्र राज्य साहित्यसंस्कृति मंडळातर्फेच प्रसिद्ध झालेल्या प्रा. गो. रा. परांजपे (सृष्टिज्ञान : आकाशदर्शन ॲटलास) आणि श्री. व्यं. ग. गोखले (अंतरीक्ष - दर्शन) ह्यांच्या पुस्तकांची येथे प्रामुख्याने नोंद करावीशी वाटते. परंतु सैद्धांतिक खगोलशास्त्रावर असे पुस्तक मला माहीत नाही. बहुतेक शालेय विद्यार्थी 'ग्रहणे का लागतात?' ह्या प्रश्नापलिकडे केलेला नसतो. वास्तविक आधुनिक काळात त्याने 'सूर्य का प्रकाशतो?', 'ताऱ्यांत बदल का आणि कसे घडतात?', 'रेडिओ स्रोत म्हणजे काय? 'कृष्णविवराचे अस्तित्व सिद्ध झाले का?'' 'विश्वाचे प्रसरण का होते?' वगैरे प्रश्न पण विचारायला पाहिजेत.

खगोलशास्त्र आणि विश्वरचना शास्त्राच्या ह्या पुस्तकात मी मुद्दाम अशा तऱ्हेच्या प्रश्नांवर आणि त्यांच्या कारणमीमांसेवर भर दिला आहे. 'विश्व हे असे आहे' हे सांगताना 'विश्व हे असे का आहे?' ह्या प्रश्नाची दखल घेण्याचा प्रयत्न केला आहे. आणि ह्या प्रश्नांची गुरुकिल्ली तिकभौशास्त्रात असल्याने त्या विषयाच्या मूलभूत नियमांपासून ह्या विषयाच्या चर्चेला-प्रारंभ केला आहे. ज्यांनी भौतिकशास्त्राचा अभ्यास केला नाही अशा वाचकांनी भौतिक शास्त्रावरचे दुसरे प्रकरण समजावून घ्यायचा प्रयत्न करावा अशी माझी त्यांना विनंती आहे. तसेच भौतिकशास्त्राचे नियम मांडताना गणित हे वापरावे लागतेच. मी जरी हे नियम शक्य तितके सोपे करून मांडले आहेत तरी थोडासा गणितीय सूत्राचा व समीकरणांचा वापर अपरिहार्यच होता. वाचकांनी ह्या थोड्याशा गणिताला बिचकू नये, व जरूर वाटल्यास परिशिष्ट 3 पहावे.

मराठीतून विज्ञान सांगताना पारिभाषिक शब्दांची अडचण येते. काही शब्द मी शासकीय

व्यवहार कोशातून घेतले तर काही प्रा. गो. रा. परांजपे यांनी संकलित केलेल्या विज्ञान कोशातून आणि काही भाषासंचालनालयातर्फे प्रसिद्ध झालेल्या गणितावरील परिभाषा शब्दावलीतून घेतले. शिवाय अनेक शब्द माझ्या अल्पमतीप्रमाणे बनवले. अशा पारिभाषिक शब्दांच्या सूंच्या (इंग्रजी-मराठी आणि मराठी-इंग्रजी अशा) पुस्तका शेवटी दोन परिशिष्टात दिल्या आहेत. काही प्रचलित इंग्रजी पारिभाषिक शब्द जसेच्या तसे मराठीत वापरावेत, त्यांचे क्लिष्ट भाषांतर करण्याच्या भानगडीत पडू नये अशा मताचा मी आहे.

राजभाषा वर्षात मला हे पुस्तक लिहिण्याची संधी मिळाली याबद्दल मला आनंद वाटतो. मराठीतून मी खगोलशास्त्रीय विषयांत भाषणे दिली आहेत. ह्या विषयावर मराठीत पुस्तक लिहावे ही इच्छा बरेच दिवसापासून मनात होती ती साकार करण्याची संधी दिल्या-बद्दल महाराष्ट्र राज्य साहित्य-संस्कृति मंडळाचे मी आभार मानतो.

पुस्तकाचे हस्तलिखित तयार करताना टाटा इंस्टिटयूट मधील सुविधांचा मला फायदा मिळाला. झीरॉक्स विभागाच्या श्रीमती वजिफदार आणि त्यांचे सहकारी यांनी तत्परतेने हस्तलिखिताच्या प्रतिकृती करून दिल्या. श्री पालेकर आणि त्यांच्या सहकाऱ्यांनी रेखाचित्रे काढून देण्यात मदत केली व श्री उपाध्याय आणि त्यांच्या सहकाऱ्यांनी छायाचित्रांचे संकलन करून दिले. ह्या सर्वांचा मी आभारी आहे. शेवटी, माझी पत्नी सौ. मंगला हिने सामान्य सुशिक्षित वाचकाच्या दृष्टिकोनातून पुस्तकाचे हस्तलिखित वाचून सुधारणा सुचवल्या म्हणून तिचे पण आभार मानतो.

जयन्त नारळीकर

टाटा इंन्स्टिटयूट ऑफ फंडामेंटल रीसर्च,
मुंबई 400 005

मे, 1979

१. आधुनिक खगोलशास्त्रातील विश्वरूपदर्शन

प्रस्तावना

जेव्हा आदिमानवाने आकाशाकडे दृष्टिक्षेप करून सूर्य, चंद्र, तारका इत्यादींकडे कुतूहलात्मक प्रवृत्तीने पाहिले तेव्हाच खगोलशास्त्राचा जन्म झाला. ह्या वस्तू का प्रकाशतात? त्यांच्या आकाशातील भ्रमणकक्षा कशा ठरवल्या जातात? ग्रहणे का लागतात? . . .अशा तऱ्हेचे नानाविध प्रश्न मानवापुढे उभे राहिले. त्यांची उत्तरे शोधण्याचा त्याने प्रयत्न चालू ठेवला. त्यामागे दोन कारणे होती. एक कारण म्हणजे आकाशस्थ वस्तूंचे निरीक्षण करून मिळणारी माहिती दैनंदिन जीवनाला उपयोगी ठरते हे त्याला पटले होते. शेतीसाठी ऋतुचक्राची माहिती लागते आणि ऋतूंमध्ये होणाऱ्या बदलांचा संबंध नक्षत्रांशी लावण्यात मानवाने यश मिळवले होते. चंद्र, सूर्य आणि नक्षत्रे यांच्या मदतीने कालमापन करता येते हे मानवाला आढळून आले.

परंतु खगोलशास्त्राच्या वाढीमागे दुसरे कारण जास्त महत्त्वाचे आहे—आणि ते म्हणजे मानवी जिज्ञासा. नैसर्गिक घटनांमागचे रहस्य समजावून घेण्याची त्याची प्रवृत्ती उपनिषद्-कालात होती तशी आजही आहे. त्यामुळे वर नमूद केल्यासारखे प्रश्न सोडवण्याचे त्याचे प्रयत्न अविरत चालू होते आणि आजही चालू आहेत. परंतु अशा प्रयत्नांना सिद्धी मिळण्यापूर्वी अनेक (मानवनिर्मितच !) अडथळे पण आले. ज्या प्रश्नांचे समाधानकारक उत्तर सापडले नाही त्यांची कारणमीमांसा 'त्या घटनांमागे एखादी अनाकलनीय दैवी (?) शक्ती असेल' अशाप्रकारे करण्याचा मोह बहुजनसमाजाला टाळता आला नाही. अंधश्रद्धांच्या अनेक प्रकारांतून मार्ग काढत, अनेक अडचणींना तोंड देऊन आज खगोलशास्त्र विज्ञानाचे एक महत्त्वपूर्ण अंग म्हणून शोभत आहे.

याचे एक उदाहरण पहा ! तारकांच्या निरीक्षणातून मानवाला असे आढळले की त्यांचे दोन प्रकार आहेत. त्यापैकी पहिल्याप्रकारच्या वस्तू आकाशातून ठराविक कक्षांत फिरतात

असे त्याला (पृथ्वीवरून केलेल्या) निरीक्षणातून आढळले. त्याउलट काही ठराविक वस्तू मात्र अनियमित मार्गाने आकाशात भ्रमण करतात असे त्याला दिसले. (**पहा चित्र क्रमांक–1**) हे दोन प्रकार आपण तारे आणि ग्रह अशा नावाने ओळखतो. ग्रीक भाषेत ग्रहांना planets म्हणजे 'भटके' असे नाव दिले आहे. ज्याअर्थी ग्रह हे मन मानेल तसे भटकतात तेव्हा त्यांच्यात काही तरी गुप्त शक्ती असावी असा तर्क करण्याचा मोह मानवाला झाला असल्यास नवल नाही. आणि असे शक्तिमान ग्रह इतरांवर, विशेषकरून पृथ्वीवरच्या मानवांवर प्रभाव टाकत असणार असा समज बहुजनसमाजाने करून घेतला. अशातऱ्हेने फलज्योतिष (astrology) जन्माला आले.

परंतु काही जिज्ञासू मानवांनी 'ग्रह हे खरोखर वाटेल तसे भटकतात का ?' ह्या प्रश्नाचा छडा लावायचा प्रयत्न केला. त्यात त्यांना यश आले पण त्यासाठी अनेक शतके जावी लागली. सुमारे दोन हजार वर्षांपूर्वी ग्रीक खगोलशास्त्रज्ञांनी ग्रहांच्या पण भ्रमणकक्षा असतात हे दाखवले. हिप्पॉर्कस आणि टॉलेमी ह्यानी भूमितीय रचनांद्वारे पृथ्वी भोवती ग्रह कसे फिरतात हे दाखवले. परंतु पृथ्वी स्थिर असून बाकी सर्व आकाशस्थ वस्तू तिच्या भोवती फिरतात असा ग्रीक खगोलशास्त्रज्ञांचा सिद्धांत सर्वमान्य झाला आणि अनेक शतके टिकला.

पृथ्वी आपल्या अक्षाभोवती फिरते असा सिद्धांत आर्यभटाने मांडला.* नदीत नावेतून जाणाऱ्याला किनाऱ्यावरची झाडे उलट दिशेला जाताना दिसतात तसे फिरणाऱ्या पृथ्वीतलावरून पाहणाऱ्याला तारका उलट दिशेने जाताना दिसतात, हे आर्यभटाचे विधान तत्कालीन समजुतींविरूद्ध होते. त्यामुळे खुद्द त्याच्या शिष्यांनीच त्याकडे दुर्लक्ष केले ! पुढे सोळाव्या शतकात कोपर्निकसने सूर्याभोवती पृथ्वीसकट सर्व ग्रह फिरतात हे सिद्ध केले. परंतु आपल्या आयुष्यात आपला सिद्धांत मान्य झाल्याचे भाग्य कोपर्निकसच्या नशिबी नव्हते. त्यानंतर टायको ब्राहे, केप्लर, गॅलिलियो आणि शेवटी आयझॅक न्यूटन ह्या शास्त्रज्ञांनी ग्रह कसे फिरतात, का फिरतात, त्यांच्या भ्रमणकक्षा कशा ठरलेल्या आहेत हे गणिताने दाखवले. त्यामुळे ग्रह स्वेच्छेने फिरतात, त्यांच्यात अद्‌भुत शक्ती वास करते वगैरे विधाने करण्यास आता तरी काही कारण नाही. ज्या तर्कांमधून फलज्योतिष उदयाला आले त्या तर्कांनाच आता काही स्थान राहिले नाही. ज्या सिद्धांतामुळे ग्रहांची भ्रमणकक्षा ठरवण्यात न्यूटनला यश आले त्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताची चर्चा पुढे केली जाईल.

न्यूटनच्या सिद्धांतांमुळे आधुनिक विज्ञानाला आणि आधुनिक खगोलशास्त्राला चालना मिळाली असे मानण्यास हरकत नाही. गेल्या तीन शतकात आणि त्यातही गेल्या तीन दशकात

---

* 'आर्यभटीय' मधील चौथ्या अध्यायातील नववा श्लोक पहा :

अनुलोमगतिर्नौस्थः पश्यत्यचलं विलोमगं यद्वत् ।
अचलानि भानि तद्वत समपश्चिमगानि लंकायाम् ॥

खगोलशास्त्राने विलक्षण वेगाने मजल मारली. त्याचा आढावा ह्या पुस्तकात घेतला जाईल. परंतु तत्पूर्वी आपण ह्या विषयावर एक विहंगम दृष्टिक्षेप टाकूया. त्यांतून आज ह्या विषयाची मजल कुठपर्यंत गेली आहे, त्यावर कसल्या मर्यादा आहेत, त्यातून घडणारे विश्वाचे दर्शन कसे आहे याची थोडी कल्पना येईल.

अंतराळ आहे तरी कसे ?

पृथ्वी भोवती अफाट पसरलेल्या अंतराळाचा विस्तार केवढा आहे ? याची कल्पना येण्यासाठी आपण पृथ्वीपासून सुरवात करूया. पृथ्वीचा विषुववृत्तावरचा परीघ सुमारे 40,000 किलोमीटर आहे. पृथ्वी सोडून बाहेर जाण्याचा उपक्रम मानवाने अगदी अलिकडेच केला. 20 जुलै 1969 रोजी मानवाने चंद्रावर पाऊल टाकले. चंद्र हा पृथ्वीचा सगळ्यात जवळचा शेजारी—तिच्या भोवती घिरट्या घालणारा उपग्रह. त्याचे पृथ्वीपासूनचे अंतर सुमारे 4,00,000 किलोमीटर. आणि खुद्द पृथ्वी ज्या सूर्याभोवती चक्कर टाकते तो सूर्य पृथ्वीपासून किती लांब आहे ? हे अंतर आहे सरासरी सुमारे 15,00,00,000 किलोमीटर ! सूर्याभोवती फिरणाऱ्या ग्रहांपैकी सर्वात दूरचा ग्रह प्लूटो हा सूर्यापासून किती लांब आहे ? प्लूटो-सूर्य हे अंतर पृथ्वी-सूर्य ह्या अंतराच्या जवळजवळ 40 पट आहे !

प्रकाशाचा वेग (पोकळीत) जवळजवळ 3,00,000 किलोमीटर प्रति सेकंद आहे. म्हणजे प्रकाशाला सूर्यापासून पृथ्वीपर्यंत यायला जवळजवळ 8 मिनिटे लागतात. अंतराळातली अफाट अंतरे मोजायला खगोल शास्त्रज्ञाला प्रकाशाचा वेग उपयोगी पडतो. 'प्रकाश-सेकंद' हे एकक म्हणजे एका सेकंदात प्रकाशाने तोडलेले अंतर. हे वर सांगितल्याप्रमाणे जवळजवळ 3,00,000 कि. मी.. आहे. त्याचप्रमाणे 'प्रकाशवर्ष' हे एकक जवळजवळ $10{,}000{,}000{,}000{,}000 = 10^{13}$ = दहा हजार अब्ज कि. मी.. इतके आहे.* प्रकाशवर्ष हे एकक अंतरे मोजण्यासाठी उपयोगी पडते.

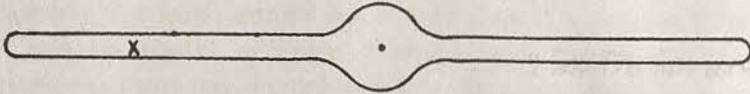
सूर्य हा एक तारा आहे. फक्त तो आपल्या जवळ असल्यामुळे अधिक तेजस्वी वाटतो सूर्याखेरीज इतर तारे आपल्याला फक्त रात्रीच (सूर्यप्रकाशाच्या अभावात) दिसू शकतात. सूर्याच्या सर्वात जवळचा तारा नरतुरंग (प्रॉक्झिमा सेंटॉरस) हा सूर्यापासून 4.3 प्रकाशवर्षे अंतरावर आहे यावरून आपल्या भोवती पसरलेल्या तारकासमूहाच्या विशालतेची थोडी कल्पना येईल.

---

*10^{13} ही संख्या म्हणजे 1 वर 13 शून्ये असलेली संख्या. मोठी संख्या लिहायला ही पद्धती ह्या पुस्तकात वापरण्यात येईल. उदाहरणार्थ :

$10^4 = 10{,}000$; $10^7 = 1{,}00{,}00{,}000$.

हा तारकासमूह म्हणजे आकाशगंगेने व्याप्त असलेले 'आपले तारकाविश्व'. हे तारका-विश्व मध्ये किंचित फुगलेल्या पण एरवी सपाट असलेल्या पुरीसारखे आहे (पहा चित्र क्रमांक 2). ह्या 'पुरी' चा व्यास जवळजवळ एक लाख प्रकाशवर्ष इतका आहे. त्यामानाने



चित्र क्रमांक 2 : आपल्या तारकाविश्वाची आकृती वर दाखवल्याप्रमाणे मध्ये थोडी फुगलेली आणि एरवी सपाट चकतीसारखी आहे. चकतीचा व्यास सुमारे एक लक्ष प्रकाशवर्ष इतका आहे. आपली सूर्यमाला × ह्या चिन्हाने दाखवलेल्या ठिकाणी आहे.

तिची जाडी कमी म्हणजे साधारण 5 ते 6 हजार प्रकाशवर्ष इतकीच आहे. आपला सूर्य केंद्रापासून जवळजवळ 30,000 प्रकाशवर्ष अंतरावर आहे. आणि आपण पाहतो ती आकाशगंगा म्हणजे ह्या आपल्या तारकाविश्वाच्या सपाट भागाचे 'आतून' घेतलेले दर्शन. एकूण आपल्या तारकाविश्वात सुमारे शंभर अब्ज तारे असावेत असा खगोलशास्त्रज्ञांचा तर्क आहे.

ह्या आपल्या आकाशगंगेने घेरलेल्या तारकाविश्वातच संपूर्ण विश्व आहे असा समज साठ वर्षांपूर्वीपर्यंत—म्हणजे विसाव्या शतकातल्या पहिल्या दोन दशकांपर्यंत प्रचलित होता. नवीन खगोलशास्त्रीय वेधांनी ह्यांत महत्वाचे बदल घडवून आणले. काही तेजःपुंज भाग जे पूर्वी आपल्या तारकाविश्वाचे घटक समजले जात ते त्या बाहेर असून दुसरी पुष्कळ लांब असलेली तारकाविश्वेच आहेत हे सिद्ध झाले. **चित्र क्रमांक 73** मध्ये दाखवलेले तारका-विश्व आपल्या तारकाविश्वाचे एक नजीकचे शेजारी आहे : त्याचे नाव ॲण्ड्रोमिडा (देवयानी).

अशी असंख्य तारकाविश्वे आपल्या अंतराळात आहेत असे आता दिसून येत आहे. आपल्या उत्तमोत्तम दुर्बीणींची कार्यक्षमता सुमारे दहा अब्ज प्रकाशवर्ष अंतरे मोजण्याइतकी आहे आणि तेवढ्या अंतरापर्यंत विश्वाचा व्याप दिसत आहे. खरोखर विश्वाला सीमा आहे का? हा गहन प्रश्न अद्यापी सुटलेला नाही. परंतु तो सोडवण्यासाठी कशातऱ्हेचे प्रयत्न चालू आहेत याची चर्चा पुढे केली जाईल.

आता आपण विश्वाच्या व्यापाची चर्चा किंचित वेगळ्या प्रकाराने करू.

एखाद्या वस्तूचा व्याप किती आहे याची कल्पना लांबीने जशी देता येते तशीच तिच्या वस्तुमानानेपण देता येते. त्यादृष्टीने पाहिल्यास आपण नुकत्याच चर्चिलेल्या वस्तूंचे वस्तुमान ढोबळमानाने खालीलप्रमाणे आहे :

1. पृथ्वी : 6×10^{27} ग्रॅम
2. सूर्य : 2×10^{33} ग्रॅम $= M_{\odot}$
3. आपले तारकाविश्व : $10^{11} M_{\odot}$
4. दुर्बिणींच्या अवाक्यातले विश्व : 10^{20}—$10^{21} M_{\odot}$

ज्याप्रमाणे मोठी अंतरे मोजायला प्रकाशवर्ष हा एकक खगोलशास्त्रज्ञाला उपयोगी पडतो त्याचप्रमाणे मोठे वस्तुमान मोजायला सूर्याचे वस्तुमान हे एकक म्हणून उपयोगी पडते. त्यासाठी $M_{\odot}$ किंवा नुसते. हे चिन्ह वापरण्यात येते.

खगोलशास्त्र हे भौतिकशास्त्राचेच एक अंग म्हणून गृहीत धरले तर त्याची तुलना परमाणुशास्त्राशी केल्यास विज्ञानाच्या एकंदर व्यापाची कल्पना येईल. दुर्बिणींच्या अवाक्यातल्या विश्वाचे वस्तुमान हायड्रोजनच्या परमाणुच्या वस्तुमानाच्या जवळजवळ 10^{78} पटीने जास्त आहे. याच विधानाचा बरेच वेळा असाही अर्थ लावण्यात येतो की दुर्बिणींच्या अवाक्यातल्या विश्वात सुमारे 10^{78} परमाणू आहेत.

विश्वाचे महत्त्वाचे घटक

आधुनिक खगोलशास्त्रात सध्या ज्या गोष्टींची चर्चा होते, आणि ज्यांचा आढावा ह्या पुस्तकात घेण्यात येणार आहे त्यांची थोडक्यात माहिती खाली देण्यात येत आहे.

1) तारे आणि ग्रह माला : ताऱ्यांचा जन्म कसा होतो ? त्यांच्याभोवती ग्रहमाला कशी तयार होते ? तारे काय म्हणून प्रकाशतात ? त्यांच्यात कालमानाने बदल घडून येतात का ? ह्या प्रश्नांची उत्तरे मिळवण्यात खगोलशास्त्रज्ञांनी बरीच प्रगती केली आहे. परमाणुशास्त्रातील शोधांचा उपयोग करून आणि आधुनिक गणकयंत्रे वापरून ह्या विषयात संशोधन चालू आहे.

2) न्यूट्रॉन तारे आणि पल्सार : ताऱ्यांमध्ये बदल होत होत त्यांचे रूपांतर अतिशय घनतावाल्या न्यूट्रॉन ताऱ्यांत होण्याची शक्यता खगोलशास्त्रज्ञांनी अनेक वर्षांपूर्वीच बोलून दाखवली होती. काही परिस्थितीत अशा ताऱ्यांतून स्पंदनलहरी निर्माण होऊन त्या लहरींमुळे खगोलशास्त्रज्ञाला अशा ताऱ्यांचे अस्तित्व समजते. 1968 मध्ये 'पल्सार' ह्या शीघ्र स्पंदन-लहरी-प्रेषकांचा शोध लागला तेव्हा ह्यांच्या मुळाशी न्यूट्रॉन तारेच असावेत अशी खगोलशास्त्रज्ञांची खात्री पटली.

3) कृष्णविवर : न्यूट्रॉन ताऱ्याची घनता पाण्याच्या 10^{15} पटींपर्यंत असू शकते. जर एखादा तारा रूपांतर होत होत न्यूट्रॉन ताऱ्याच्या स्थितीपर्यंत आलेला असताना त्याचे वस्तुमान सूर्यापेक्षा तिपटीने किंवा त्याहून जास्त असेल तर त्याच्या प्रचंड गुरुत्वाकर्षणाखाली

त्याचे आकुंचन सुरू होते. हे आकुंचन थांबवण्याइतके त्या ताऱ्यातले आंतरिक दाब नसल्याने हेआकुंचन वाढत्या वेगाने चालू राहते. या प्रकाराला 'गुरुत्वीय अवपात' (Gravitational Collapse) असे म्हणतात. अशा अवपातातून कृष्ण विवराची निर्मिती होते. कृष्ण-विवराचे वैशिष्टय असे की त्यातून कसलाच प्रकाश किंवा पदार्थ बाहेर पडू शकत नाही. कारण त्याचे प्रचंड गुरुत्वाकर्षण कुठल्याही बाहेर पडू इच्छिणाऱ्या वस्तूस आत ओढून घेते. अशी कृष्णविवरे खरोखर अस्तित्वात आहेत का ?

4) **तारकाविश्वे :** आपल्या तारकाविश्वाप्रमाणेच असंख्य तारकाविश्वे ह्या विश्वात असावीत असे सध्याच्या वेधांवरून वाटते. ह्या तारकाविश्वांचे विविध प्रकार आहेत. यांची निर्मिती कशी झाली ? ताऱ्यांप्रमाणे त्यांचे एका प्रकारातून दुसऱ्यात रूपांतर होते; का त्या वेगवेगळ्या प्रकारांची निर्मितीच वेगवेगळ्या मार्गाने होते ?

5) **विश्वकिरणे :** अनेक प्रकारचे मूलकण आणि अणुगर्भ (Nucleus) असलेल्या किरणांचा मारा पृथ्वीवर सतत होत असतो. त्यातले काही पृथ्वीच्या पृष्ठभागापर्यंत थेट पोचतात तर काहींचे पृथ्वीच्या वायुमंडलातील मूलकणांशी संघर्ष घडून त्यातून निर्माण झालेले मूलकण खालपर्यंत पोचतात. हे विश्वकिरण (Cosmic Rays) किती लांबून येतात ? त्यांची निर्मिती कुठे होते ? त्यातील कणांना इतकी ऊर्जा कुठून प्राप्त होते ?

6) **रेडियो लहरींचे जनक :** दुसऱ्या महायुद्धानंतर रेडियो लहरींद्वारे विश्वाचे वेध घेण्यात येऊ लागले. त्यातून अनेक महत्वाच्या वस्तूंचा शोध लागला आणि लागत आहे. दृश्य प्रकाश ज्याप्रमाणे तारे किंवा तारकाविश्वे याकडून येतो त्याचप्रमाणे रेडियोलहरींचे लहान मोठे जनक आपल्या तारकाविश्वात आणि त्याबाहेर सापडले आहेत. ऊर्जेचा अतिप्रचंड साठा काही रेडियोलहरी जनकात सापडतो. तो साठा मुळात तेथे कसा आला ?

7) **क्वेसार :** 1963 मध्ये काही रेडियोलहरींच्या जनकांची अधिक काळजीपूर्वक तपासणी करता असे दिसले की त्यातील प्रचंड ऊर्जेचा साठा अतिशय लहान जागेत भरलेला आहे. दृश्य प्रकाशाच्या दुर्बिणींनी वेध घेता अशी समजूत (प्रथम दर्शनी) झाली की हे जनक तारेच असावेत. परंतु ताऱ्यांसारख्या वाटणाऱ्या ह्या वस्तूंत ताऱ्यापेक्षा कोटयावधी पटीने जास्त वस्तुमानाचे पदार्थ भरले असावेत असे आढळून आले. Quasi Stellar radio source (ताऱ्यांसारखे वाटणारे रेडियो लहरींचे जनक) असे ह्या वस्तूंना नाव देण्यात आले. ह्याच नावाचे हृस्वीकरण म्हणजे 'क्वेसार'. अशाप्रकारच्या सर्वच वस्तूतून रेडियो लहरी निघतात असे नाही. परंतु लहान जागेत अत्याधिक वस्तुमान, ताऱ्याप्रमाणे प्रकाश इत्यादी गुण यांत सापडतात. Quasi-Stellar Object (ताऱ्यासारखी वस्तू) किंवा थोडक्यात QSO असे यांना नाव दिले आहे. आजवर जवळजवळ 1300 च्या आसपास QSO सापडले आहेत.

8) **'क्ष' आणि 'गामा' किरणांचे स्त्रोत :** अंतराळयुगाला सुरवात झाल्यावर पृथ्वीच्या

वायुमंडलाबाहेरून विश्वाचे वेध घेणे शक्य झाले आहे. विशेष करून 'क्ष' किंवा 'गामा' किरणांसारखे विद्युच्चुंबकीय लहरींचे प्रकार ह्या कामी वापरणे शक्य झाले. (या लहरींचे वायुमंडळात शोषण होत असल्याने त्यांचा वापर पृथ्वीतलावरून शक्य नव्हता!) अशा लहरींचे जनक विश्वात आहेत असे दिसून येत आहे परंतु अद्यापी त्यांच्या निर्मितीचे कोडे उलगडलेले नाही.

9) **सूक्ष्म तरंगांचे प्रारण :** 1965 मध्ये आर्नो पेंझियास आणि रॉबर्ट विल्सन ह्या शास्त्रज्ञांनी विश्वात सर्वत्र सूक्ष्मतरंगांच्या प्रारणाची पार्श्वभूमी असल्याचा महत्त्वाचा शोध लावला. त्यानंतरच्या दहावर्षांत हे प्रारण अनेकांनी वेगवेगळ्या लांबीच्या लहरींसाठी मोजले. यातून विश्वाच्या उत्पत्ती-संबंधाने महत्वाचे निष्कर्ष काढले जातात. हे प्रारण खरोखर विश्वभर पसरले आहे का? त्याची उत्पत्ती कशी झाली?

10) **विश्वाची उत्पत्ती आणि रचना :** खगोलशास्त्राच्या प्रगतीमुळे आणि वाढत्या व्यापामुळे शास्त्रज्ञाला संपूर्ण विश्वाच्या रचनेबद्दल शास्त्रीय तर्क करणे शक्य झाले. अशा प्रयत्नातूनच विश्वरचनाशास्त्राचा जन्म झाला.

अशा तऱ्हेचे तर्क मांडणारा शास्त्रीय प्रबंध आल्बर्ट आईन्स्टाइन याने 1917 साली मांडला. सैद्धांतिक विश्वरचना शास्त्राला (Theoretical Cosmology) इथूनच पुढे चालना मिळाली. महास्फोटातून विश्वाची उत्पत्ती झाली असे सांगणारा सिद्धांत आइन्स्टाइनच्याच समीकरणातून निघतो. (परंतु हा महास्फोटाचा सिद्धांत आइन्स्टाइनने प्रथम काढला नसून 1922–24 साली फ्रीडमनने काढला. त्याची चर्चा पुढे येईलच.)

परंतु केवळ तर्कांनी आणि सिद्धांतांनी शास्त्रीय शोध प्रकाराची साखळी पूर्ण होत नाही. त्याकरता प्रयोगांची, निरीक्षणांची, वेधांची आवश्यकता आहे. वेधात्मक विश्वरचनाशास्त्राची (Observational Cosmology) सुरवात 1929 सालच्या एडविन हबलच्या प्रबंधाने झाली असे म्हणायला हरकत नाही. 'विश्व प्रसरण पावत आहे' असा निष्कर्ष हबलच्या शोधातून काढण्यात आला. त्या शोधाचे स्वरूप काय होते? त्यावर आधुनिक काळात –गेल्या पन्नास वर्षांत –किती भर पडली आहे? वेधात्मक विश्वरचनाशास्त्राचे आजचे स्वरूप काय आहे? ह्या प्रश्नांची चर्चा शेवटच्या प्रकरणात केली जाईल.

खगोलशास्त्राची कार्यप्रणाली

खगोलशास्त्राने घडवून आणलेले हे धावते विश्वरूपदर्शन वाचून साहजिकच असा प्रश्न पुढे येतो: 'ही सर्व माहिती खगोलशास्त्रज्ञांना कळली कशी?' आणि त्या पाठोपाठच दुसरा प्रश्न येतो: 'ह्या माहितीचा आणि पुढे मिळणाऱ्या माहितीचा खरेखोटेपणा ठरवायचा कसा?' ह्या प्रश्नांची थोडक्यात उत्तरे अशी आहेत.

खगोलशास्त्र हे 'शास्त्र' आहे याचा अर्थ त्याच्या कार्यप्रणालीत वैज्ञानिक दृष्टिकोन वापरला जातो. वैज्ञानिक पद्धतीप्रमाणे :

. . .निरीक्षण → परीक्षण → कारणमीमांसा → निरीक्षण → . . .

ही साखळी खगोलशास्त्रात अव्याहत चालू असते. **निरीक्षणा**साठी आज वेधांचे अनेक प्रकार उपलब्ध आहेत. त्याचा फायदा घेऊन खगोलशास्त्रीय वेधांनी लांबवरची मजल गाठली आहे. अशा निरीक्षणातून मिळालेली माहिती कच्च्या स्वरूपात अर्थातच फार गोंधळात टाकणारी असते. नीट **परीक्षण** केल्याखेरीज त्यांतून बोध होत नाहीत.

परीक्षणासाठीपण आज अनेक प्रकार उपलब्ध आहेत. ज्याप्रमाणे गोंगाटातून आपल्याला हवा असलेला 'सिग्नल' तज्ञाला अचूक ओळखून काढता येतो त्याचप्रमाणे खगोलशास्त्रीय निरीक्षणातून मिळालेल्या माहितीच्या गडबडगुंड्यातून – त्यामागून डोकावणारी – नवी माहिती शोधून काढायला गणित आणि संख्या शास्त्रातले उपाय वापरण्यात येतात.

आणि ही नवी माहिती 'हे असे का ?' हा प्रश्न जेव्हा उपस्थित करते तेव्हा त्याचे उत्तर देणे सैद्धांतिक खगोलशास्त्रज्ञाला भाग पडते. त्यासाठी मदत म्हणून आधुनिक विज्ञानाने पुरवलेली सैद्धांतिक माहिती तो वापरतो. आधी दिलेल्या ग्रहांच्या गतीच्या उदाहरणातून हे स्पष्ट होते. निरीक्षण करून ग्रह कसे फिरतात याची प्रथम नोंद केली गेली. त्यानंतर परीक्षण करून त्या ग्रहांच्या गतीत एकतऱ्हेची सुसंगतता आहे हे दाखवण्यात आले. आणि पुढे न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताद्वारे 'ग्रहांच्या भ्रमण कक्षा अशाच का असतात ?' या प्रश्नाचे उत्तर मिळाले.

परंतु **कारणमीमांसा** केल्यावर हा विषय संपला असे मुळीच नव्हे ! उलट, कारणमीमांसा करताना वापरलेल्या सिद्धांतातून नवे काही तरी भाकित करण्याचा खगोलशास्त्रज्ञाचा प्रयत्न असतो. असे नवे काही तरी निरीक्षणाद्वारे पडताळून पहावे असा त्याने निष्कर्ष काढला की ते निरीक्षण करण्यासाठी वेधात्मक खगोलशास्त्रज्ञ प्रयत्न करतो. आणि वर सांगितलेली शृंखला पुढे चालू होते.

'ग्रहांच्या भ्रमणकक्षा अशाच का ?' याचे उत्तर देताना वापरलेला न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत अन्य ठिकाणी पण उपयोगात आला. ग्रहाभोवती फिरणारे उपग्रह, लांबून येणारे धूमकेतू, समुद्राला येणारी भरती-ओहोटी इत्यादी अनेक घटनांची कारणमीमांसा या सिद्धांताने केली.

असे असूनही हा सिद्धांत आज 'पूर्ण बरोबर' ह्या सदरात बसत नाही ! कारण काही बाबतीत योग्य कारणमीमांसा करण्यात तो असफल ठरला. (याची चर्चा पुढे केली जाईल.) कुठल्याही शास्त्रीय सिद्धांताचे हेच संभाव्य भवितव्य असते. जोपर्यंत घडलेल्या घटनांची कारणमीमांसा तो योग्यप्रकारे करू शकतो तोपर्यंत तो सिद्धांत 'योग्य' समजला जातो. परंतु

एखादी नवी घटना अशी दिसून येते की तिचे रहस्य उकलण्यात तो सिद्धांत तोकडा पडतो. असे झाले की त्या सिद्धांताला 'अयोग्य' ठरवण्यात येते. ब्रिटिश शास्त्रज्ञ सर हरमन बाँडी यांनी ह्या कार्यप्रणालीचे अशा शब्दात वर्णन केले आहे : "कुठलाही शास्त्रीय सिद्धांत 'बरोबर' म्हणून कधीच मानला जात नाही—पण पुढे मागे तो 'चूक' असे मात्र सिद्ध केले जाते."

अशा वैज्ञानिक कार्यप्रणालीतून आधुनिक खगोलशास्त्र पुढे वाटचाल करत आहे. ह्या वाटचालीत अनेक सिद्धांत काही वेळ 'योग्य' सदरात बसून पुढे मोडीत काढण्यात आले. परंतु अशा मोडीत काढण्याच्या प्रकारातून सुद्धा प्रगतीच होते. कारण पुढेमागे जो नवा सिद्धांत उदयाला येतो तो पहिल्यापेक्षा अधिक परिपक्व असतो. आणि आजचे 'योग्य' आणि 'परिपक्व' समजले जाणारे सिद्धांत उद्या परवा 'अयोग्य' सदरात बसणार हे निश्चित.

आजचे सिद्धांत काय सांगतात ? त्यांची झेप कोठवर आहे ? त्यांचा निरीक्षणाशी कितपत मेळ बसतो ? आणि खुद्द निरीक्षणांची आजची परिस्थिती आणि उद्याचे भवितव्य काय आहे ? ह्या प्रश्नांची चर्चा ह्या पुस्तकात केली जाईल.

त्याहेतूने पुढल्या प्रकरणात भौतिकशास्त्रीय सिद्धांतांची प्रथम चर्चा करू; कारण ह्या सिद्धांतांच्या आधारावरच खगोलशास्त्रज्ञ आपले सिद्धांत तयार करतात. शिवाय खगोल-शास्त्रीय वेधांची विविध उपकरणे ह्या भौतिकशास्त्राच्याच सिद्धांतांवर तयार केलेली असतात. अशा काही महत्त्वाच्या उपकरणांची माहिती तिसऱ्या प्रकरणात पुरवली जाईल. आणि त्यानंतरच्या प्रकरणांमध्ये आधुनिक खगोलशास्त्राची चर्चा सुरू होईल.



२. भौतिक शास्त्राचा पाया

चार मूलभूत क्रिया

सृष्टीचीं गूढे उकलण्यासाठी भौतिकशास्त्रज्ञ 'निरीक्षण-परीक्षण-कारणमीमांसा' ह्या पद्धती-प्रमाणे कारणमीमांसेसाठीं सिद्धांतांचा उपयोग करतो. अर्थातच आपले सिद्धांत शक्य तितक्या व्यापक स्वरूपाचे असावेत हे त्याचे ध्येय असते. जशी जशी भौतिकशास्त्राची प्रगती होत जाते तसतसे मुळात वेगळे वाटणारे सिद्धांत एकत्र येऊन ते एकाच – अधिक व्यापक – सिद्धांताचे भाग आहेत असे दिसून येते. उदाहरणार्थ विद्युतशास्त्र आणि चुंबकीय शास्त्र हे परस्पर-संबंधित असून एकाच विद्युच्चुंबकीय शास्त्राचे घटक आहेत हे गेल्या शतकात दिसून आले. आज विज्ञानाकडे पाहिले तर असे दिसून येते की भौतिकशास्त्राचे सध्याचे सर्व छोटे मोठे सिद्धांत एकूण चार मूलभूत क्रियांच्या 'पाया'वर आधारलेले आहेत. सृष्टीत घडणाऱ्या एकून सर्व प्रकारच्या घटना, ज्यांचे आकलन थोडे फार झाले आहे अशा, ह्या चार क्रियांच्या सदरात बसतात. अशा घटनांची विविधता लक्षात घेता हे यश काही कमी नव्हे.

ह्या चार मूलभूत क्रिया आहेत खालीलप्रमाणे :

1. गुरुत्वाकर्षण (Gravitation)
2. विद्युच्चुम्बकीय शास्त्र (Electromagnetic Theory)
3. तीव्र क्रिया (Strong Interaction)
4. मंद क्रिया (Weak Interaction)

खगोलशास्त्रालासुद्धा याच चार मूल क्रियांचा आधार मिळतो. 'सूर्य का प्रकाशतो ?' 'स्पंदक म्हणजे काय ?' वगैरे प्रश्नांची उत्तरे मिळवण्यात ज्या भौतिकशास्त्रीय सिद्धांतांचा वापर करावा लागतो ते सिद्धांत याच चार मूलक्रियांवर आधारलेले आहेत. म्हणून प्रथम ह्या मूलक्रियांची माहिती घेऊ. ज्या वाचकांनी भौतिकशास्त्राचा अभ्यास केलेला आहे अशांनी

हे प्रकरण ओलांडून पुढे जावे.

गुरुत्वाकर्षण

ह्या मूलक्रियेचा शोध आयझॅक न्यूटन याने लावला. 1687 साली प्रसिद्ध केलेल्या आपल्या पुस्तकात – 'प्रिंकिपिया'त – न्यूटन[1]ने हा सिद्धांत मांडला. त्याचे थोडक्यात स्वरूप असे :

$$F = G\ \frac{M_1\ M_2}{R^2} \tag{1}$$

ह्या सूत्राचा अर्थ असा. M_1 आणि M_2 अशा वस्तुमानाच्या दोन वस्तूंमध्ये एक परस्परांकडे ओढणारी शक्ती असते जिला 'गुरुत्वाकर्षण' म्हणतात आणि जिचे बळ F इतके असते. हे बळ ह्या वस्तूंच्या वस्तुमानांच्या समप्रमाणात वाढते तर त्यांच्यामधल्या अंतराच्या (R) वर्गाच्या (R^2) व्यस्तप्रमाणात कमी होते. हे बळ मापणारा G हा एक स्थिरांक आहे. त्याला गुरुत्वाकर्षणाचा स्थिरांक म्हणतात.

ह्या सिद्धांताचे अनेक उपयोग करण्यात आले. त्यांची थोडक्यात खाली चर्चा करूया.

1) **पृथ्वीचे वस्तुमान :** ह्या सिद्धांताचा उपयोग करून आपल्याला पृथ्वीचे वस्तुमान काढता येईल ! चित्रक्रमांक 3 मध्ये एक माणूस पृथ्वीतलावर उभा राहिलेला दाखवला आहे. समजा त्याचे वस्तुमान M_1 आहे, आणि पृथ्वीचे वस्तुमान M_2 आहे. न्यूटनच्या सूत्रातला R म्हणजे पृथ्वीच्या केंद्रबिंदूपासून माणसाचे अंतर, म्हणजे पृथ्वीचा अर्धव्यास (= ६,४०० किलॉमीटर). F म्हणजे माणसाला पृथ्वीकडे खेचणारे गुरुत्वाकर्षणाचे बळ. हे कसे मोजायचे ?

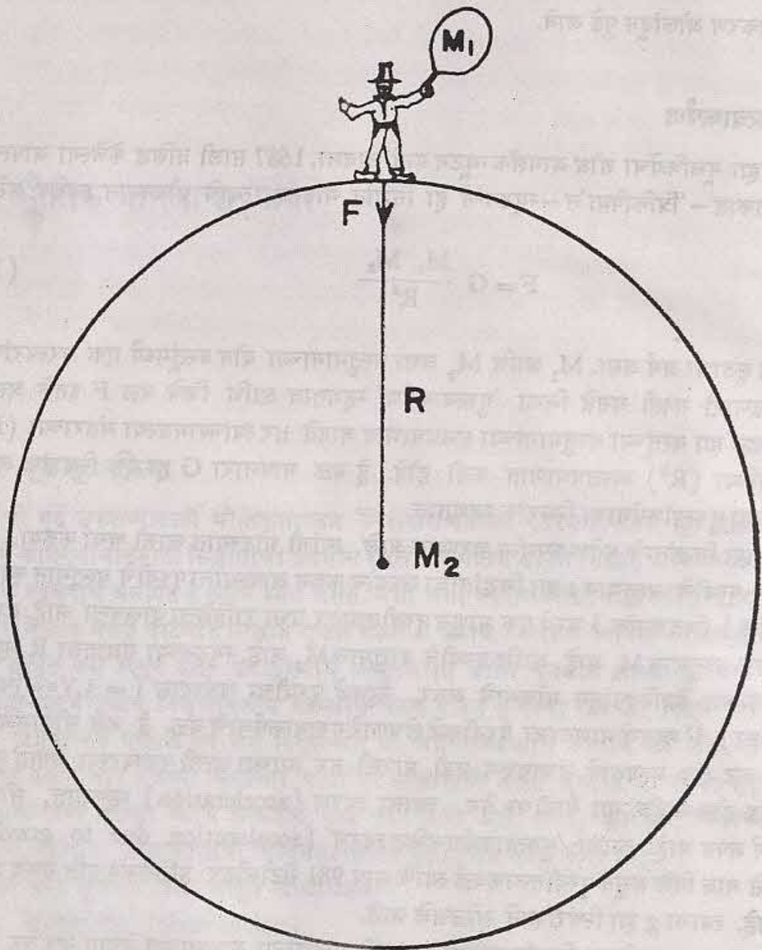
जर त्या माणसाने उंचावरून उडी मारली तर त्याच्या खाली पडण्याच्या वेगात सतत वाढ होत जाईल. ह्या वाढीचा वेग, ज्याला त्वरण (acceleration) म्हणतात, मोजता येणे शक्य आहे. त्याला 'गुरुत्वाकर्षणजनित त्वरण' (acceleration due to gravity) असे नाव दिले असून पृथ्वीतलाजवळ त्याचे माप 981 सेंटीमीटर प्रतिसेकंद प्रति सेकंद इतके आहे. त्याला g ह्या स्थिरांकाने ओळखले जाते.

न्यूटनच्या गतीच्या सिद्धांताप्रमाणे ह्या उडी मारणाऱ्या माणसाच्या वेगात जर दर सेकंदाला g ने वाढ होत असेल तर त्याच्यावर $M_1 \times g$ इतके बळ काम करत असणार. पण नेमके हेच बळ म्हणजे F नव्हे का ?

$$F = M_1 g \tag{2}$$

---

1. Isaac Newton : 'Philosophiae Naturalis Principia Mathematica', (1687).



चित्र क्रमांक 3 : गोल पृथ्वीवर उभ्या राहिलेल्या माणसाला स्वतःला वजन असल्याची जाणीव होते कारण पृथ्वीच्या गुरूत्वाकर्षणाने तो पृथ्वीच्या केंद्रबिंदूकडे खेचला जातो. वरील चित्रात हे खेचणारे बळ F ने दाखवले आहे.

समीकरण (1) आणि वरील समीकरण सोडवल्यास आपल्याला पाहिजे असलेले उत्तर मिळते :

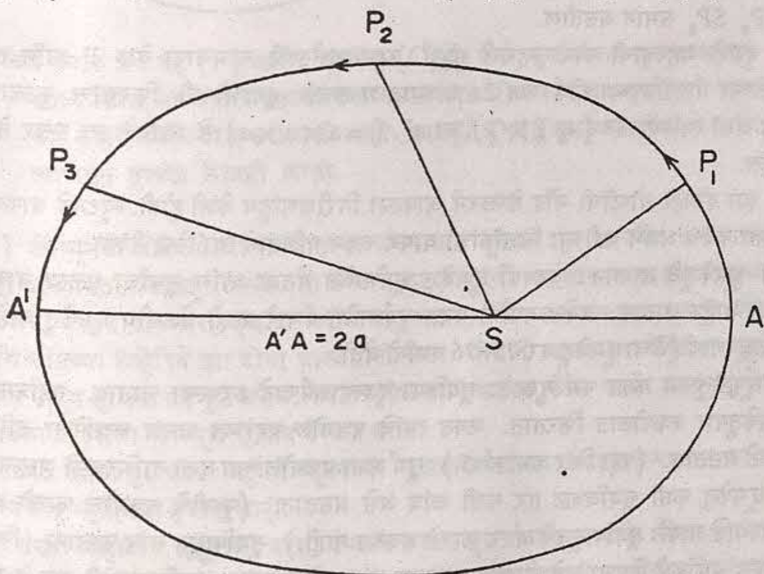
$$M_2 = \frac{R^2 g}{G} \quad (3)$$

आपल्याला R आणि g किती ते माहीत आहे. उरला फक्त G. प्रयोगशाळेत त्याचे मूल्य मोजण्यात आले आहे आणि ते आहे :

$$G = 6.668 \times 10^{-8} \text{ यूनिट्स.} \quad (4)$$

हे यूनिट आहे (सेंटीमीटर)^3 प्रतिग्राम प्रति (सेकंद)^2 सर्व मापे सेंटीमीटर-ग्राम-सेकंदात व्यक्त केल्यास समीकरण (3) वरून आपल्याला उत्तर मिळते $M_2 \cong 6 \times 10^{27}$ ग्राम. (पहा तपासून !).

2) **ग्रहांची भ्रमण कक्षा :** चित्र क्रमांक–4 मध्ये सूर्य (S) आणि एक ग्रह (P) दाखवले



चित्र क्रमांक 4 : ग्रह सूर्या (S) भोवती वक्रगोलाकार कक्षेत फिरतो. अशा ग्रहाच्या कक्षेवरील तीन जागा P_1, P_2 आणि P_3 दाखवल्या आहेत. केप्लरच्या नियमा-प्रमाणे जर P_1SP_2 व P_2SP_3 ही क्षेत्रफळे समान असतील तर ग्रहाला P_1 ते P_2 आणि P_2 ते P_3 सारखाच वेळ लागेल. $A^1A = 2a$ हा वक्रगोलाचा दीर्घ अक्ष.

आहेत. न्यूटनच्या सिद्धांताप्रमाणे दोन्ही परस्परांना SP ह्या रेषेत आकर्षित करतात. आकर्षणाचे बळ सारखे असले तरी ग्रहाचे वस्तुमान सूर्यापेक्षा पुष्कळच कमी असल्याने त्या बळाचा सूर्यापेक्षा ग्रहाच्या गतीवरच जास्त प्रभाव दिसून येतो. अशातऱ्हेने सूर्याकडे खेचणारे बळ P वर काम करत असेल तर P कशातऱ्हेने फिरेल ?

अर्थातच, जर P हा प्रथम स्थिर असेल तर तो सरळ SP ह्या रेषेतून सूर्याकडेच धाव घेईल. परंतु जर तो मुळात सूर्यापेक्षा वेगळ्या दिशेने फिरत असेल (म्हणजे SP ही दिशा – उलटसुलट दोन्ही बाजूला – सोडून) तर तो एका वक्रगोल (ellipse) कक्षेत फिरेल. शिवाय ह्या फिरण्यांत काही वैशिष्टचे दिसून येतील ती अशी.

एक म्हणजे SP ही सरळ रेषा ह्या वक्रगोलाचे क्षेत्रफळ ठराविक वेगाने व्यापीत जाईल. चित्र क्रमांक–4 मध्ये SP ची तीन वेळची ठिकाणे—SP_1, SP_2 आणि SP_3 अशी दाखवली आहेत. ग्रहाने P_1 पासून P_2 कडे जाण्यात जेवढा वेळ घेतला तेवढाच वेळ जर P_2 पासून P_3 कडे जाण्यात घेतला असेल तर भ्रमण कक्षेनी व्यापलेली क्षेत्रफळे P_1 SP_2 व P_2 SP_3 समान असतील.

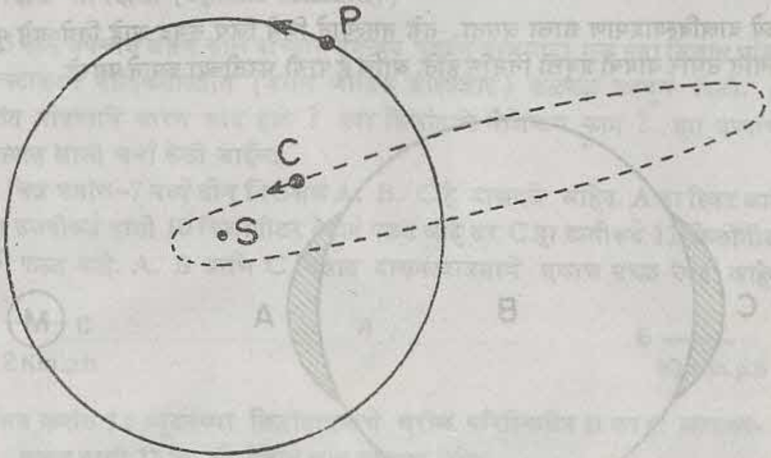
दुसरी महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे संपूर्ण भ्रमणकक्षेसाठी लागणारा वेळ T आणि त्या कक्षेच्या वक्रगोलाच्या दीर्घ अक्ष 2a यांच्यातला संबंध. सूर्याभोवती फिरणारा कुठलाही ग्रह असो त्याच्या T^2 ($=T\times T$) ला a^3 ($=a\times a\times a$) ने भागिले तर उत्तर तेच येईल.

ह्या दोनही गोष्टींची नोंद केप्लरने आपल्या निरीक्षणांतून केली होती. न्यूटनने आपल्या गुरुत्वाकर्षण आणि गतीच्या सिद्धांतांचा वापर करून गणिताने त्या सिद्ध केल्या.

3) **धूमकेतूंचे आगमन :** दूरवर्ती धूमकेतू सूर्यमालेत येतात आणि सूर्याला वळसा घालून परत बाहेर जातात. अनेक वर्षांनी परत सूर्यमालेत येणारे काही प्रेक्षणीय धूमकेतू आहेत. उदाहरणार्थ हॅलेचा धूमकेतू दर 75–76 वर्षांनी येतो.

धूमकेतूंच्या कक्षा पण मुख्यतः सूर्याच्या गुरुत्वाकर्षणाने ठरवल्या जातात. ग्रहांप्रमाणे धूमकेतूपण वक्रगोलात फिरतात. फक्त त्यांचे वक्रगोल ग्रहांच्या भ्रमण कक्षांपेक्षा अधिक चपटे असतात. (पहा चित्र क्रमांक–5.) सूर्य अशा वक्रगोलांच्या एका नाभिस्थळी असल्याने हे धूमकेतू कधी सूर्याजवळ तर कधी लांब असे असतात. (पृथ्वीचे वक्रगोल फारसे वक्र नसल्याने आपले सूर्यापासूनचे अंतर फारसे बदलत नाही.) सूर्यापासून लांब जाताना (किंवा लांबून सूर्याकडे येताना) हे धूमकेतू ग्रहांच्या कक्षा ओलांडतात. क्वचित्प्रसंगी जर ते गुरू ग्रहाजवळ आले तर त्या ग्रहाच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे त्यांची कक्षा बदलू शकते.

पृथ्वी ते सूर्य ह्या अंतराच्या शेकडोपटीने जास्त अंतरावरून हे धूमकेतू येतात. पण त्यांच्या नियमित कक्षांवरून न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत इतक्या लांबपर्यंत लागू पडतो याची खात्री पटते.



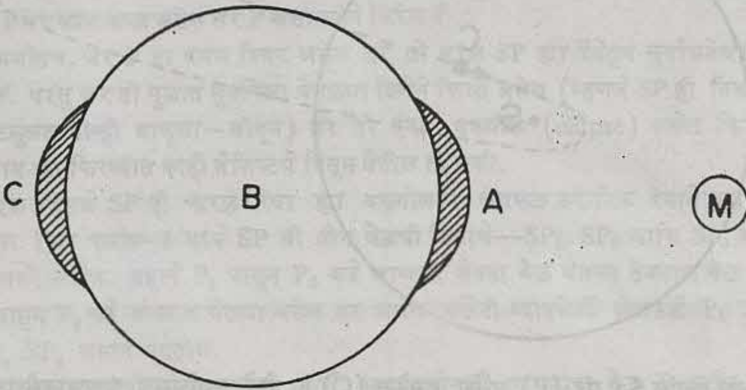
चित्र क्रमांक 5 : ग्रह (P) आणि धूमकेतू (C) हे दोघे सूर्याच्याच गुरुत्वाकर्षणाखाली फिरत असले तरी ग्रहाची कक्षा जवळजवळ गोलाकार तर धूमकेतूची कक्षा मोठे वक्रत्व असलेल्या वक्रगोलाची असते. त्यामुळे धूमकेतू सूर्याजवळही येतो आणि त्यापासून पुष्कळ लांबही जातो.

4) **नेपच्यूनचा शोध :** गेल्या शतकातल्या प्रथमार्धात यूरेनस ह्या ग्रहाच्या भ्रमण कक्षेत काही अनियमितता आढळून आली. ती येण्याचे कारण यूरेनसच्या आसमंतात त्यावर गुरुत्वाकर्षणाचा प्रभाव टाकणारा एखादा नवीन ग्रह असावा असा तर्क इंग्लंडच्या जॉन अॅडम्स आणि फ्रांसच्या लेव्हेरिये ह्या दोघा शास्त्रज्ञांनी केला. दोघांनी आपापल्या वेगळ्या पद्धतीने गणित मांडून हा नवा ग्रह कुठे असेल, केवढा असेल वगैरे भाकित केले. आणि तसा ग्रह शेवटी सापडला ! त्याला 'नेपच्यून' हे नाव देण्यात आले.

1846 मधली ही घटना म्हणजे न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताच्या यशाचा परमोच्च बिंदू म्हणायला हरकत नाही.

5) **भरती-ओहोटी :** समुद्राला भरती येण्याचे कारण गुरुत्वाकर्षणच आहे. चित्र क्रमांक–6 मध्ये पृथ्वी आणि चंद्र दाखवले आहेत. चंद्राच्या गुरुत्वाकर्षणाचा पृथ्वीच्या वेगवेगळ्या भागांवर त्यांच्या चंद्रापासूनच्या अंतराप्रमाणे कमी जास्त प्रभाव पडतो. चित्रात दाखवल्याप्रमाणे सर्वात जवळचा भाग A हा सर्वात अधिक चंद्राकडे खेचला जातो, मधला भाग B त्यामानाने कमी तर शेवटचा, सर्वात लांबचा, भाग C हा सर्वात कमी. जर पृथ्वी संपूर्ण पाण्याने (किंवा एखाद्या लवचिक वस्तूने) व्यापली असती तर तिचा आकार चित्र क्रमांक 6

मध्ये दाखविल्याप्रमाण झाला असता. तसे नसल्याने जिथे जिथे समुद्र आहे तिथे असे पृष्ठ भागात उभार यायची प्रवृत्ती निर्माण होते. आणि हे पाणी भरतीच्या रूपाने पसरते.



चित्र क्रमांक 6 : भरती कशी येते हे वरील चित्रात दाखवले आहे. चंद्र (M) पृथ्वीला आपल्याकडे ओढायचा प्रयत्न करतो त्यामुळे जर पृथ्वीचा पृष्ठभाग लवचिक असला (म्हणजे, समुद्राने व्याप्त असला) तर चित्रात दर्शवल्याप्रमाणे त्यांत फुगीरपणा निर्माण होण्याची प्रवृत्ती होते.

हा गुरुत्वाकर्षणाचा प्रभाव भरतीचा प्रभाव (Tidal Effect) म्हणून ओळखला जातो आणि जसे जसे अंतर R वाढत जाते तसा तसा तो R^3 च्या व्यस्तप्रमाणात कमी होतो. त्यामुळे चंद्राचा प्रभाव सूर्यापेक्षाही जास्त आहे. इतर ग्रहांचा पृथ्वीवर फारसा भरतीचा प्रभाव नसतो. सर्व ग्रह एका रेषेत आले तरी हा प्रभाव नगण्यच असतो. एखादा उभा राहिलेला माणूस बसला की त्याचे शरीर सरासरी पृथ्वीच्या जवळ जाते आणि त्यामुळे त्याच्या वजनात किंचित वाढ होते.* सर्व ग्रह जरी एका दिशेने त्याच्यावर गुरुत्वाकर्षण टाकू लागले तरीसुद्धा त्याच्या वजनात तितका बदल होत नाही !

न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत आपल्या अंतराळयानांच्या कक्षा ठरवायला वापरण्यात येतो. त्याचा उपयोग खगोल शास्त्रज्ञ ताऱ्यांचे गणित मांडायला पण करतो. परंतु ह्या सिद्धांतात काही विसंगत्या आढळल्यामुळे आइंस्टाइनने एक नवा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत मांडला. तो समजून घेण्यासाठी आपल्याला आइन्स्टाइनच्या सापेक्षता-सिद्धांताकडे वळले पाहिजे.

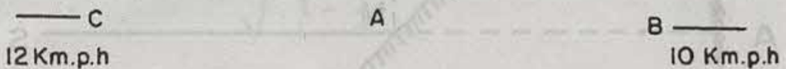
---

* गणित मांडून पहा म्हणजे कळेल ही वाढ किती कमी आहे ते !

विवक्षित सापेक्षता (Special Relativity)

1905 मध्ये अवकाश आणि काल यांच्यात समन्वय घडवून आणणारा एक नवा सिद्धांत मांडून आइन्स्टाइनने भौतिकशास्त्रात (आणि भौतिक शास्त्रज्ञांत) खळबळ उडवून दिली. हा सिद्धांत मांडण्याचे कारण काय होते ? त्या सिद्धांताचे वैशिष्ट्य काय ? ह्या प्रश्नांची थोडक्यात खाली चर्चा केली जाईल.

चित्र क्रमांक–7 मध्ये तीन निरीक्षक A, B, C हे दाखवले आहेत. A हा स्थिर आहे, B हा उजवीकडे ताशी 10 किलोमीटर वेगाने पळत आहे तर C हा डावीकडे 12 किलोमीटर वेगाने पळत आहे. A, B आणि C चित्रात दाखवल्याप्रमाणे एकाच सरळ रेषेत आहेत.

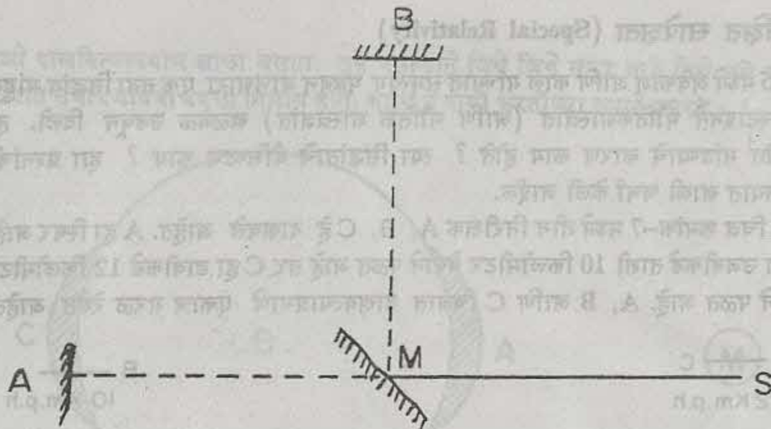


चित्र क्रमांक 7 : न्यूटनच्या सिद्धांताप्रमाणे वरील परिस्थितीत B ला C आपल्यापासून ताशी 22 कि. मी. वेगाने लांब जाताना दिसेल.

अर्थात् A ने पाहिले तर त्याला B आपल्यापासून लांब 10 कि. मी. (ताशी) वेगाने जात आहे असे वाटेल त्याचप्रमाणे C चा वेग आपल्या दिशेने 12 कि. मी. (ताशी) आहे असे त्याला दिसून येईल. B ला काय दिसेल ? त्याला C आपल्याकडे ताशी 10 + 12 = 22 कि. मी. वेगाने येत आहे असे वाटेल. हा निष्कर्ष काढताना आपण न्यूटनपासून चालत आलेले गतीचे बेरीज वजाबाकीचे नियम वापरतो.

परंतु 1887 च्या जुलै महिन्यात मायकेलसन आणि मोर्ले यांनी केलेल्या प्रयोगामुळे या नियमांचे उल्लंघन होत आहे असे दिसून आले. त्याकाळच्या शास्त्रज्ञांचा असा तर्क होता की प्रकाशाला 'ईथर' नावाचे माध्यम लागते आणि ते माध्यम जर पृथ्वीतलाभोवती वातावरणात असेल तर त्या माध्यमात पृथ्वीचा वेग मोजणे शक्य होईल. उदाहरणार्थ पृथ्वी ही पश्चिमेकडून पूर्वेकडे फिरते असे गृहीत धरले तर ह्या ईथरच्या माध्यमातून जाणाऱ्या प्रकाशाला पूर्व-पश्चिम आणि उत्तर-दक्षिण ह्या दोन काटकोन करणाऱ्या दिशांत ठराविक अंतर पूर्ण करायला वेगळा कालावधि लागेल (पहा : चित्र क्रमांक–8) न्यूटनच्या गतीच्या नियमानुसार जर पूर्वपश्चिम दिशेला जाऊन परत यायला T हा कालावधि लागत असेल तर उत्तर-दक्षिण दिशेला जाऊन यायला (तेवढेच अंतर !) लागणारा कालावधि

$$T_1 = T\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$



चित्र क्रमांक 8 : मायकेलसन-मोर्ले प्रयोगात एक प्रकाश किरण S पासून निघून अर्धवट पारदर्शक अशा आरशा (M) वर आदळते. तिचा एक भाग उत्तरेकडे परावर्तित होऊन जातो आणि B ह्या आरशाने परावर्तित होऊन M कडे येतो आणि तेथे परावर्तित होऊन S कडे परततो. दुसरा भाग M मधून जाऊन पश्चिमेकडे येतो. दोन्ही मार्गांनी (AM=BM) प्रकाशाला सारखाच वेळ लागतो.

इतका असेल. इथे V= ईथरमध्ये पृथ्वीचा वेग आणि c= प्रकाशाचा ईथरमधला वेग. T आणि T_1 यांच्यातला फरक मोजायचा मायकेल्सन आणि मोर्ले यांचा उद्देश होता. परंतु प्रत्यक्षात त्यांना काहीच फरक आढळला नाही !

याचे कारण काय असावे ? कारणमीमांसेसाठी लॉरेंझ, फिट्झ्जॅरल्ड आणि पॉइंकारे सारख्या भौतिकशास्त्रज्ञांनी बरेच प्रयत्न केले. परंतु समाधानकारकरित्या हे कोडे सोडवण्याचे श्रेय आइन्स्टाइनलाच लाभले. त्याने हे सोडवण्यासाठी केलेले मूळविधान मात्र अद्भुत होते. ते समजून घेण्यासाठी आपण A, B आणि C च्या आपल्या उदाहरणाकडे वळू.

समजा त्या उदाहरणात C हा एक निरीक्षक नसून प्रकाशाचा स्रोत आहे. जर A ला C चा वेग मोजता आला आणि तो सेकंदाला 3 लाख किलोमीटर इतका भरला तर B ने मोजलेला प्रकाशाचा वेग किती भरेल ? आपल्या पहिल्या उदाहरणाप्रमाणे तो वेग सेकंदाला

3,00,000 कि. मी + B चा वेग (ताशी 10 कि. मी.)

$$= \left(3{,}00{,}000 + \frac{1}{360}\right) \text{ कि. मी.}$$

इतका पाहिजे. परंतु आइन्स्टाइनचे उत्तर : सेकंदाला 3,00,000 कि. मी. इतकेच ! म्हणजे A आणि B दोघांना तो प्रकाश स्रोत सारख्याच वेगाने आपल्याकडे येतांना दिसतो.

हे कसे शक्य आहे? कारण A आणि B यांचे कालमापन सारखे नाही. A जर B चे घड्याळ पाहू लागला तर त्याला ते घड्याळ आपल्या घड्याळाच्या तुलनेत हळू जाताना दिसेल. आणि गंमत म्हणजे B ला पण A चे घड्याळ हळू जात आहे आसे वाटेल ! जर V = A ने पाहिलेला B चा वेग आणि c = प्रकाशाचा वेग तर दोघांना एकमेकांची घड्याळे

$$\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$$

ह्या प्रमाणात हळू जाताना दिसतील.

आइन्स्टाइनच्या ह्या गृहीतकात फक्त प्रकाशालाच हे महत्वाचे स्थान प्राप्त आहे. जर A आणि B चा सापेक्ष वेग V हा c च्या फार जवळ असेल तर मात्र A आणि B च्या कालमापनात बरीच तफावत दिसून येईल. जरी मोठाल्या वस्तू इतक्या वेगाने फिरत नाहीत तरी मूलकणांचा वेग मोठा (म्हणजे c च्या जवळपास) असू शकतो. अशा मूलकणांच्या कालमापनपद्धतीत आइन्स्टाइनचे भाकीत पडताळून पाहण्यात आले आहे, आणि ते खरे ठरले आहे.

सर्वसाधारण वस्तूंना मात्र प्रकाशाच्या वेगाची मर्यादा गाठणे अशक्य प्राय आहे. कारण आइन्स्टाइनच्या सिद्धांताप्रमाणे वेगाबरोबर वस्तूचे जडत्व वाढते. जर तिचे वस्तुमान स्थिर असताना m असेल तर तिचा वेग V असताना ते वस्तुमान

$$\frac{m}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

असे वाढले असेल. अशा वाढलेल्या वस्तुमानाच्या वस्तूचा वेग आणखी वाढवायला जास्तच बळ वापरावे लागेल. V = c ही सीमा गाठायला 'अनंत' बळाची आवश्यकता आहे. त्यामुळे प्रकाशाची मर्यादा अनुल्लंघनीय आहे.

वस्तुमान आणि ऊर्जा याच्यातले तुल्यत्व पण आइन्स्टाइनच्या सिद्धांतातून प्रथम प्रकट झाले. जर एखाद्या वस्तूचे वस्तुमान m असेल तर त्यात

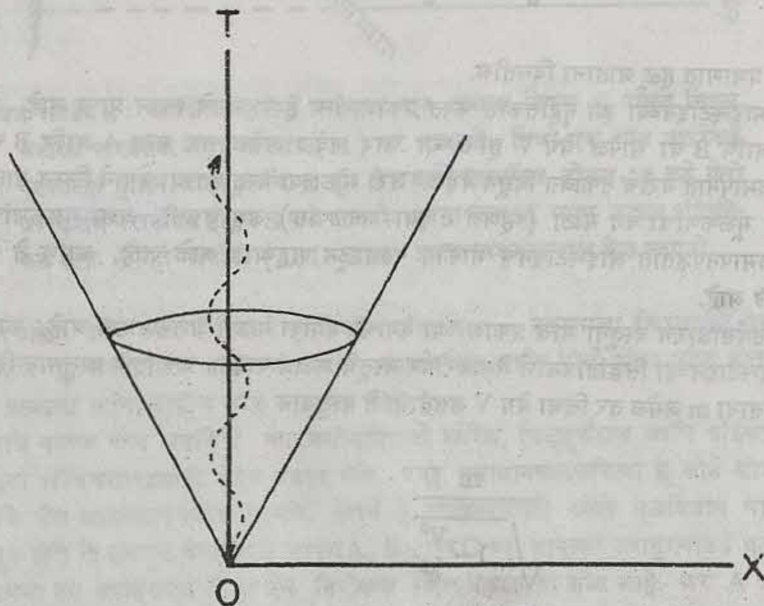
$$E = mc^2$$

इतकी ऊर्जा वसते. ह्या सूत्राप्रमाणे जर एक ग्राम वस्तूचे संपूर्ण ऊर्जेत रूपांतर झाले तर ती ऊर्जा

$$E = 1\ gm \times c^2 = 9 \times 10^{20}\ ergs$$

= अडीच कोटी किलोवॉट-अवर.

म्हणजे एका ग्रामपासून जवळजवळ अडीच कोटी विजेची युनिट्स इतकी ऊर्जा मिळू शकेल.



चित्र क्रमांक 9 : काल-अवकाशाच्या रेखाकृतीत काल हा OT दिशेने तर अवकाशाचे तीन डायमेंशन OX ने दर्शवण्यात आला आहे. O पासून निघालेली प्रकाश किरणे सरळ रेषेत प्रवास करत चित्रातील शंकुवर असतात. जर सूर्य स्थिर मानला तर त्याची विश्वरेषा OT किंवा तिच्या समांतर असेल. ती OT असेल तर पृथ्वीची विश्वरेषा टिंबांकित रेषेप्रमाणे OT ला वळसे देत वर जाईल.

काही मूलकण मात्र प्रकाशाच्या वेगाने जाऊ शकतात. आपण नुकतेच पाहिले त्याप्रमाणे हे मूलकण कधीच स्थिर असणार नाहीत. (कारण जर ते स्थिर असते तर त्यांचे वस्तुमान कितीही कमी असले तरी त्यांना प्रकाशाची वेगमर्यादा गाठायला अपरिमित बळ वापरावे लागले असते—आणि ही गोष्ट अशक्यप्राय आहे.) खुद्द प्रकाशाचे कण – फोटॉन – आणि न्यूट्रिनो हे अशाप्रकारचे मूलकण आहेत.

चित्र क्रमांक–9 मध्ये एक प्रकाश-शंकु (Light Cone) काढला आहे. हा शंकु म्हणजे एका बिंदूपासून निघणाऱ्या प्रकाशाच्या गतीने जाणाऱ्या सर्व वस्तूंच्या मार्गरेषांचा संचय. चित्रात दाखवल्याप्रमाणे OT रेषा ही कालाची रेषा आहे आणि OX अवकाशाची. अर्थात लांबी-रुंदी-ऊंची हे अवकाशाचे तीनही डायमेंशन ह्या OX रेषेत अभिप्रेत आहेत. अशा चित्राला अवकाश-कालाचे रेखाचित्र म्हणतात. कुठलीही वस्तू केव्हा कुठे असेल हे एका रेषेत दाखवता येते. ही त्या वस्तूची 'विश्वरेषा'. पृथ्वी सूर्याभोवती गोलकक्षेत फिरते असे मानले तर स्थिर सूर्याची विश्वरेषा OT ने दाखवता येईल व पृथ्वीची विश्वरेषा झाडाला वळसे घालत वर जाणाऱ्या लतेप्रमाणे (चित्रात टिंबांकित रेषेने दाखवल्याप्रमाणे) असेल.

न्यूटनच्यापासून काल आणि अवकाश हे सृष्टीतील आपल्या अनुभवाचे वेगळे समजले जाणारे घटक, हे आता आइन्स्टाइनच्या सिद्धांतामुळे 'अवकाश-काल' ह्या संज्ञेत एकत्र आले. विवक्षित सापेक्षतेवरील एखाद्या पुस्तकात ह्या सिद्धांताबद्दल सखोल चर्चा सापडेल.[2]

व्यापक सापेक्षता (General Relativity)

विवक्षित सापेक्षतेचा सिद्धांत मांडल्यावर आइन्स्टाइन जेव्हा गुरुत्वाकर्षणाकडे वळला तेव्हा त्याला दोन अडचणी भासल्या. त्या खालीलप्रमाणे आहेत :

1) न्यूटनच्या सिद्धांताप्रमाणे दोन वस्तूंमधील गुरुत्वाकर्षणाचा प्रभाव एका वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूकडे (किंवा दुसरीकडून पहिलीकडे) तत्काल पोचतो. त्याउलट विवक्षित सापेक्षता असे सांगते की कुठलाही भौतिकशास्त्रीय प्रभाव प्रकाशापेक्षा अधिक वेगाने जाऊ शकत नाही.

उदाहरणार्थ अशी कल्पना करा : सूर्यमालेच्या केंद्रस्थानी असलेला सूर्य एकाएकी नाहीसा झाला ! त्याचा परिणाम पृथ्वीला कसा आणि केव्हा जाणवेल ? सूर्याचे गुरुत्वाकर्षण लुप्त-झाल्यावर पृथ्वी आपली नेहमीची वक्रगोलाकार कक्षा सोडून सरळ रेषेत धावू लागेल. आणि न्यूटनच्या सिद्धांताप्रमाणे सूर्य नष्ट झाल्यावर हे तत्काल घडून येईल. परंतु पृथ्वीवरच्या

---

2. उदाहरणार्थ पहा : 'The Meaning of Relativity' by Albert Einstein, Methuen & Co., London.

गग ४२६३—३

लोकांना सूर्य गेल्याचे कळायला जवळजवळ आठ मिनिटे लागतील—जर ती माहिती सूर्य प्रकाशाच्या स्वरूपात पृथ्वीकडे येत असेल तर. म्हणजे सूर्य दिसेनासा होण्यापूर्वीच त्याचे गुरुत्वाकर्षण नाहीसे झाले ही जाणीव पृथ्वीवरच्या लोकांना होईल. अशी विसंगति भौतिकशास्त्रात असू नये.

2) विवक्षित सापेक्षतेच्या सिद्धांतात एका विशिष्ट प्रकारच्या निरीक्षकांना महत्त्वाचे स्थान आहे. हे निरीक्षक म्हणजे ज्यांच्या गतीमागे कुठले ही बळ काम करत नाही. न्यूटनच्या गतीच्या नियमांनुसार हे निरीक्षक स्थिर तरी असतात किंवा सतत सारख्या वेगाने सरळ रेषेत तरी जात असतात. यांना जडत्वनिष्ठ (Inertial) निरीक्षक असे म्हणतात. अशा सर्व निरीक्षकांना भौतिकशास्त्राचे मूलभूत सिद्धांत सारखेच दिसतात असे विवक्षित सापेक्षता सांगते. 'प्रकाशाचा वेग' हा विद्युच्चुंबकीय सिद्धांतातून एक मूलभूत नियम म्हणून उद्भवतो (ते आपण पुढे प.हूं.). म्हणून सर्व जडत्वनिष्ठ निरीक्षकांना प्रकाशाचा वेग सारखाच दिसतो.

परंतु जोपर्यंत गुरुत्वाकर्षण आहे तोपर्यंत बळाचे अस्तित्व नाकारता येणार नाही. म्हणून विवक्षित सापेक्षतेला आवश्यक असलेले जडत्वनिष्ठ निरीक्षक आणायचे कुठून ? विश्वात कुठेही गेले तरी कोणत्या ना कोणत्या वस्तूचे गुरुत्वाकर्षण असणारच. तेव्हा गुरुत्वाकर्षणाच्या सातत्याने असण्याच्या गुणधर्माची पूर्णपणे दखल न घेतल्याने विवक्षित सापेक्षतेचा सिद्धांत अपूर्ण आहे.

वरील दोनही गोष्टींचा विचार करून आइन्स्टाइनने 1915 साली व्यापक सापेक्षतेचा सिद्धांत काढला. गुरुत्वाकर्षण नेहमीच असते, असलेले नष्ट करता येत नाही, वस्तू जिथे-तिथे आसमंतात गुरुत्वाकर्षण असतेच,. . .इत्यादी मुद्दे विचारात घेऊन आइन्स्टाइन ने एक विलक्षण निष्कर्ष काढला, तो असा : 'गुरुत्वाकर्षणाचा परिणाम अवकाश-काल यांच्या भूमितीवर होतो.'

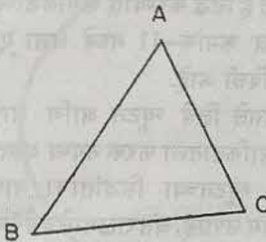
हा परिणाम कसा दृष्टीस पडेल ? आपण एक उदाहरण पाहू. चित्रक्रमांक–10 मध्ये डावीकडे एक त्रिकोण ABC काढला आहे. त्याच्या तीनही कोनांची बेरीज 180° भरेल असे आपल्याला युक्लिडची भूमिती सांगते :

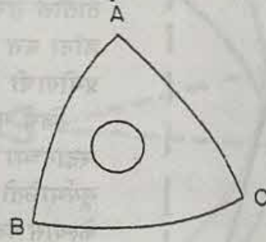
$$\angle A + \angle B + \angle C = 180^\circ$$

परंतु समजा चित्रात उजवीकडे दाखवल्याप्रमाणे हा त्रिकोण एखाद्या मोठ्या वस्तुमानाच्या वस्तूभोवती आपण काढला तर ? आइन्स्टाइनच्या निष्कर्षाप्रमाणे त्या वस्तूच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे तिच्या आसपासच्या अवकाश-कालातील भूमिती बदलते. तिच्यातल्या त्रिकोणांना युक्लिडचा वरील नियम लागू पडत नाही. उलट

$$\angle A + \angle B + \angle C > 180^\circ$$

म्हणजेच त्रिकोणातील कोनांची बेरीज 180° हून जास्त भरते.





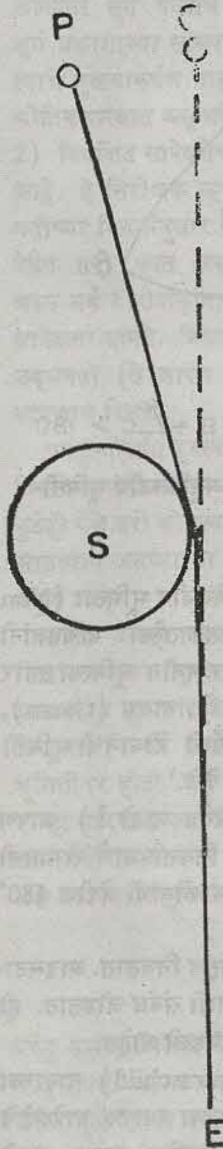
चित्र क्रमांक 10 : युक्लिडच्या आणि आइन्स्टाइनने सुचवलेल्या अयुक्लिडीय भूमिती-तला फरक वरील दोन त्रिकोणाद्वारे दर्शवला आहे.

ज्यां भूमित्यांना युक्लिडचे नियम लागू पडत नाहीत त्यांना अयुक्लिडीय भूमित्या (Non Euclidean Geometries) म्हणतात. याचा शोध गेल्या शतकातल्या गणितज्ञांनी लावला होता. युक्लिडच्या भूमितीच्या गृहीतकांत बदल करून ह्या नवीन भूमित्या तयार करता येतात हे लोबाच्युस्की (Lobatchevsky), बोल्याई (Bolyai), गाउस (Gauss), रीमान (Riemann) आदि गणितज्ञांनी सिद्ध केले होते. अशापैकी रीमानची भूमिती गुरुत्वाकर्षणाचा प्रभाव दाखवू शकते असे आइन्स्टाइनने प्रतिपादन केले.

समजा सूर्याभोवती प्रकाशझोत टाकून (कारण प्रकाश सरळ रेषेत जातो !) आपण A B C हा त्रिकोण तयार केला आणि त्याला आइन्स्टाइनच्या नियमाप्रमाणे रीमानची भूमिती लावली. तर वर सांगितल्याप्रमाणे त्या त्रिकोणाच्या तीन कोनांची बेरीज 180° पेक्षा किंचित् जास्त भरेल.

अशातऱ्हेचे अनेक निष्कर्ष आइन्स्टाइनच्या व्यापक सापेक्षतावादातून निघतात. आइन्स्टाइनची समीकरणे वस्तू आणि ऊर्जेच्या स्त्रोतांचा अयुक्लिडीय भूमितीशी संबंध जोडतात. ही समीकरणे अत्यंत क्लिष्ट असून त्यांची फारच थोडी उत्तरे आजवर सापडली आहेत.

सूर्याभोवती भूमिती कशी असेल हा प्रश्न श्वार्झचिल्ड (Schwarzschild) नावाच्या शास्त्रज्ञाने सोडवला. त्याचा उपयोग करून सूर्यमालेत आइन्स्टाइनच्या व्यापक सापेक्षतेचे अनेक निष्कर्ष पडताळून पाहण्यात आले आहेत. सूर्याभोवती त्रिकोण काढून त्याचे



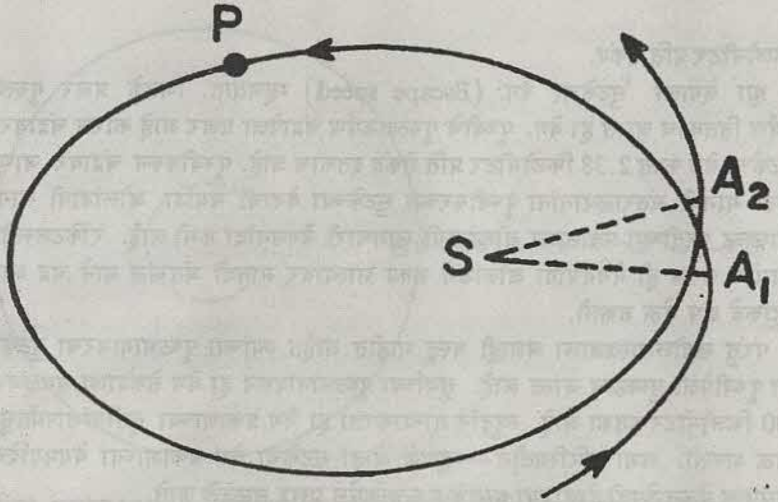
कोन मोजणे जरी शक्य झाले नसले तरी सूर्याजवळून जाणाऱ्या प्रकाशरेषा आइन्स्टाइनने भाकित केल्याप्रमाणे रीमानच्या भूमितीतील सरळ रेषांप्रमाणे आहेत हे सिद्ध करण्यात खगोलशास्त्रज्ञांना यश मिळवले आहे. चित्र क्रमांक–11 मध्ये अशा एक प्रयोगाची थोडक्यात माहिती दिली आहे.

जिथे गुरुत्वाकर्षण प्रखर नसते तिथे न्यूटन आणि आइन्स्टानच्या सिद्धांतांनी केलेल्या भाकितातला फरक नगण्य असतो. सूर्यमालेतील बहुतेक ठिकाणी न्यूटनच्या सिद्धांताचा वापर केल्यास नडत नाही. आपले कृत्रिम उपग्रह, अंतराळयाने वगैरेंच्या कक्षा न्यूटनच्या सिद्धांतानेच ठरवल्या जातात कारण प्रत्यक्ष गणिते सोडवण्याच्या कामी तो आइन्स्टाइनच्या सिद्धांतापेक्षा पुष्कळ सोपा असल्याने उपयोगी पडतो. परंतु तात्त्विक-दृष्टचा आधी वर्णन केलेल्या विसंगती आइन्स्टाइनच्या सिद्धांतात नाहीत हे नमूद करणे आवश्यक आहे.

सूर्यमालेत एका ठिकाणी मात्र आइन्स्टाइनच्या सिद्धांताने न्यूटनच्या सिद्धांताला न सुटलेला एक प्रश्न सोडवण्यात यश मिळवले आहे. बुध ग्रहाची भ्रमणकक्षा चित्र क्रमांक–12 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे थोडी बदलते असे अनेक वर्षांच्या अवलोकनाने आढळले. कक्षेतील सूर्याजवळचा सर्वात नजिकचा बिंदू सूर्यापासून आपली दिशा बदलतो असे आढळून आले. ही दिशा का बदलते याचे संपूर्ण उत्तर न्यूटनच्या सिद्धांतात नाही पण ते आइन्स्टाइनची समीकरणे सोडवल्यावर सापडते.

आता आपण प्रखर गुरुत्वाकर्षणाची थोडक्यात चर्चा करू. कारण येथे आइन्स्टाइनच्या सद्धांताची खरी किमया दिसून येते.

चित्र क्रमांक 11 : जेव्हा एखादा तारा P सूर्याच्या (S) मागे येतो तेव्हा तिकडून येणारे प्रकाश किरण सूर्याच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे 'वळते' आणि पृथ्वी (E) वरून पाहिल्यास तो तारा P ऐवजी Q ह्या ठिकाणी दिसतो. अलिकडे हा प्रयोग दृश्यप्रकाशा ऐवजी रेडिओ-मायक्रोवेव्ह लहरी वापरून आणि ताऱ्याऐवजी क्वेसार वापरून अतिशय बिनचूकरीत्या करण्यात आला आहे.



चित्र क्रमांक 12 : बुध ग्रहा (P) ची सूर्याभोवतालची कक्षा वक्रगोलाकार असावी असा न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत सांगतो (पहा चि. क्र. 4). आइन्स्टाइनच्या सिद्धांताप्रमाणे ह्या कक्षेत वरील चित्रात दाखवल्याप्रमाणे हळूहळू बदल होतो—त्या कक्षेतील सूर्याच्या सर्वात नजीकचा बिंदू A_1 हा एक फेरी पूर्ण झाल्यावर A_2 कडे गेलेला असतो. हा कोन A_1SA_2 शंभर वर्षात 43 आर्क सेकंद इतका वाढतो.

अशी कल्पना करा की आपण पृथ्वीतलावरून एक दगड वेगानें वर भिरकावला. त्याचे पुढे काय होईल ? तो एक ठराविक उंची गाठून अखेर पृथ्वीवर खाली पडेल. कारण त्याला पृथ्वीचेच गुरुत्वाकर्षण खाली खेचून घेते. जितका जास्त वेगाने आपण तो दगड वर फेकू तितका तो पृथ्वीपासून लांब जाईल पण अखेर तो खालीच पडेल ! तर प्रश्न असा : 'पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण ओलांडून परत न येईल अशा तऱ्हेने दगड फेकणे शक्य आहे का ?' तसे शक्य असेल तर कमीत कमी किती वेगाने दगड फेकणे आवश्यक आहे ?

ह्या प्रश्नाचे उत्तर आहे 'होय' आणि हा कमीत कमी वेग खालील सूत्राने दिला जातो :

$$V = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad (5)$$

ह्या सूत्रात M = पृथ्वीचे वस्तुमान आणि R = पृथ्वीचा अर्धव्यास. G हा गुरुत्वाकर्षणाचा स्थरांकआपण न्यूटनच्या सिद्धांतात पूर्वीच पाहिला आहे. ह्या सूत्रावरून उत्तर येते V = 11

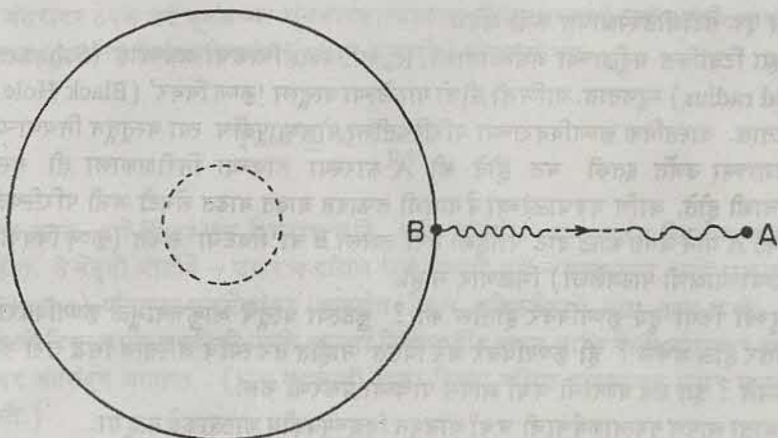
किलोमीटर प्रति सेकंद.

ह्या वेगाला 'सुटकेचा वेग' (Escape speed) म्हणतात. जितके प्रखर गुरुत्वाकर्षण तितकाच जास्त हा वेग. पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण चंद्रापेक्षा प्रखर आहे कारण चंद्रावरचा सुटकेचा वेग फक्त 2.38 किलोमीटर प्रति सेकंद इतकाच आहे. पृथ्वीवरून चंद्रावर जाण्यासाठी मानवी अंतराळयानांना पृथ्वीवरच्या सुटकेच्या वेगाची मर्यादा ओलांडावी लागते. त्याउलट परतीच्या प्रवासाला ओलांडावी लागणारी वेगमर्यादा कमी आहे. रॉकेटशक्तीचा उपयोग करून ही वेगमर्यादा ओलांडणे शक्य झाल्यावर मानवी अंतराळ याने चंद्र आणि ग्रहांकडे झेप घेऊ शकली.

परंतु खगोलशास्त्रज्ञाला अशाही वस्तू माहीत आहेत ज्यांच्या पृष्ठभागावरचा सुटकेचा वेग पृथ्वीपेक्षा पुष्कळच जास्त आहे. सूर्याच्या पृष्ठभागावरून हा वेग सेकंदाला जवळजवळ 600 किलोमीटर इतका आहे. न्यूट्रॉन ताऱ्याकरता हा वेग प्रकाशाच्या तृतीयांशापर्यंतसुद्धा जाऊ शकतो. अशा परिस्थितीत—म्हणजे जेव्हा सुटकेचा वेग प्रकाशाच्या वेगमर्यादेच्या आसपास येऊन ठेपतो तेव्हा त्या वस्तूचे गुरुत्वाकर्षण प्रखर समजले जाते.

जर प्रकाश एखाद्या प्रखर गुरुत्वाकर्षण असलेल्या वस्तू जवळून निघून लांबवर असलेल्या मंद गुरुत्वाकर्षणाच्या ठिकाणी आला तर त्याची उर्जा कमी होते. कारण त्याची काही उर्जा गुरुत्वाकर्षण ओलांडण्यासाठी खर्च झालेली असते. प्रकाशाच्या मूलकणांची उर्जा त्यांच्या कंपनसंख्येच्या समप्रमाणात असल्याने अशा प्रकाशाची कंपनसंख्या कमी होते. (पहा : विद्युच्चुंबकीय शास्त्रात ह्या मुद्द्याची पुढे होणारी चर्चा.) त्यामुळे त्याची लहरलांबी वाढते. ह्या प्रकाराला गुरुत्वाकर्षणजनित ताम्रसृती (Gravitational redshift) म्हणतात. कंपनसंख्या कमी झाल्यामुळे कालमापनावर पण परिणाम होतो तो असा.

समजा चित्र क्रमांक 13 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक तारा आकुंचन पावत आहे. पृष्ठभागावरून एक निरीक्षक B हा दर सेकंदाला एका लांबच्या निरीक्षकाकडे – A कडे – प्रकाश संदेश पाठवत आहे. आकुंचन पावताना आपण असे गृहीत धरू की त्या ताऱ्याचे वस्तुमान बदलत नाही. परंतु त्याचा अर्धव्यास कमी होत असल्याने आपण नुकत्याच वापरलेल्या सूत्र नं. (5) प्रमाणे ताऱ्यापासूनचा सुटकेचा वेग वाढत जातो. ह्या वाढत्या गुरुत्वाकर्षणामुळे B पासून येणाऱ्या प्रकाशाच्या कंपनसंख्येत अधिकाधिक घट होऊ लागते. उदाहरणार्थ जर B पासून दर सेकंदाला 5 लाख अब्ज ($=5\times10^{14}$) लहरी निघत असतील तरही कंपनसंख्या A पर्यंत तो प्रकाश आल्यावर कमी झाली असणार. समजा ती निम्म्याने कमी झाली—अडीच अब्ज इतकीच झाली. त्याचा अर्थ B पासून दर सेकंदाला निघालेल्या सर्व लहरी A ला दर दोन सेकंदाला मिळतील. आणि त्यामुळे A चा असा समज होईल की B चे घड्याळ निम्म्या वेगाने जात आहे. आणि जसजसा तो तारा आकुंचन पावत जाईल तसतसे B चे घड्याळ जास्तजास्त सावकाश जात आहे असे A ला वाटेल.



चित्र क्रमांक 13 : A जवळील गुरुत्वाकर्षणामुळे त्याने सोडलेल्या विद्युतचुंबकीय लहरींची कंपनसंख्या, त्या लहरी B पर्यंत पोचेपर्यंत, कमी झालेली असते. याचा परिणाम असा होतो की A ला वाटते की B चे घड्याळ हळू चालले आहे. टिबांकित गोलापर्यंत ताऱ्याचे आकुंचन चालू राहिले तर तारा कृष्णविवर होतो. मग B ने सोडलेल्या लहरी A पर्यंत पोचूच शकत नाहीत.

ह्या प्रकाराला एक सीमा आहे. जेव्हा चित्रात दाखवलेल्या टिंबांकित वर्तुळापर्यंत B येऊन ठेपतो तेव्हा त्याच्या आसमंतातले गुरुत्वाकर्षण इतके प्रखर झालेले असते की तिथून सुटकेचा वेग प्रकाशाच्या वेगाइतका झालेला असतो. याचा अर्थ ह्या मर्यादेपलिकडे आकुंचन चालू राहिल्यास B पासून येणारा प्रकाश बाहेरच पडू शकणार नाही. तो ताऱ्याच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे आंतच खेचला जाईल. अशा परिस्थितीत A ला B कडून येणारे संदेश बंद होतील. शिवाय B चे घड्याळ थांबले आहे असेच A ला वाटेल.

सूत्र नं. (5) प्रमाणे ही परिस्थिती येईल तेव्हा ताऱ्याचा अर्धव्यास

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \qquad (6)$$

इतका कमी झालेला असेल. (c = प्रकाशाचा वेग) सूर्यासारख्या ताऱ्यांचे आकुंचन होत ही परिस्थिती यायला R_s तीन किलॉमीटर इतका कमी झाला पाहिजे (सूर्याचा अर्धव्यास 7 लाख किलॉमीटर इतका आहे !). आणि पृथ्वी ह्या परिस्थितीला पोचल्यास तिचा अर्ध-

व्यास एक सेंटीमीटरपेक्षापण कमी असेल.

ह्या टिंबांकित वर्तुळाच्या अर्धव्यासाला, R_s ला, श्वार्झचिल्डचा अर्धव्यास (Schwarzchild radius) म्हणतात. आणि ती सीमा गाठलेल्या वस्तूला 'कृष्ण विवर' (Black Hole) म्हणतात. वास्तविक कृष्णविवराच्या परिस्थितीला पोचण्यापूर्वीच त्या वस्तूतून निघणाऱ्या प्रकाशाच्या उर्जेत इतकी घट होते की A सारख्या लांबच्या निरीक्षकाला ती वस्तू दिसेनाशी होते. आणि घड्याळांच्या वेगातली तफावत वाढत वाढत शेवटी अशी परिस्थिती यते की A याने अनंत काळ वाट पाहिली तरी त्याला B चा 'शेवटचा' संकेत (कृष्ण विवरात शिरण्याच्याक्षणी पाठवलेला) मिळणार नाही.

पृथ्वी किंवा सूर्य कृष्णविवर होतील का ? कुठल्या वस्तूचे आकुंचनामुळे कृष्णविवरात रूपांतर होऊ शकेल ? ही कृष्णविवरे जर दिसत नाहीत तर त्यांचे अस्तित्व सिद्ध तरी कसे करायचे ? ह्या सर्व प्रश्नांची चर्चा आपण पाचव्या प्रकरणी करू.

आता आपण गुरुत्वाकर्षणाची चर्चा थांबवून विद्युच्चुंबकीय शास्त्राकडे वळू या.

विद्युच्चुम्बकीय शास्त्र

विज्ञानाला माहीत असलेल्या चारी मूलभूत प्रक्रियांपैकी विद्युच्चुम्बकीय शास्त्रात सर्वाधिक प्रगती झाली आहे. हे शास्त्र परिपक्व अवस्थेत आणण्यात अनेक वैज्ञानिकांनी हात भार लावला आहे. त्यांच्यामुळे ह्या शास्त्राची प्रगती कशी होत गेली त्याची थोडक्यात माहिती अशी आहे.

कूलंबचे सिद्धांत : न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताच्यासारखेच दोन सिद्धांत कूलंबने मांडून ह्या शास्त्राची सुरवात केली. विद्युतशास्त्रामधला कूलंबचा सिद्धांत खालील सूत्राने मांडता येईल :

$$F = \pm \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

याचा अर्थ असा : q_1, आणि q_2 विद्युत्भार असलेल्या दोन वस्तू जर R अंतरावर ठेवल्या तर त्यांच्यातले आकर्षण किंवा प्रतिकर्षण (Repulsion) वरील सूत्राप्रमाणे F ह्या 'बळा'ने मोजता येईल. विद्युतभार दोन प्रकारचे असतात—धनात्मक आणि ऋणात्मक. सारख्या प्रकारच्या (म्हणजे दोनही धनात्मक किंवा दोनही ऋणात्मक) विद्युतभारात प्रतिकर्षण असते तर विरुद्ध प्रकारच्या विद्युतभारात आकर्षण असते. ह्या दोन शक्यता वरील सूत्रात – आणि + ह्या दोन चिन्हांनी दाखवल्या आहेत.

चुंबकात दोन ध्रुव असतात—उत्तरी आणि दक्षिणी. जर m_1 व m_2 अशा शक्तीचे ध्रुव

R अंतरावर ठेवले तर कूलंबच्या चुंबकीयशास्त्रातल्या सिद्धांताप्रमाणे त्यांच्यातले आकर्षण विरूद्ध ध्रुवातले) किंवा प्रतिकर्षण (समान ध्रुवातले) मोजणारे वळ

$$F = \pm K \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

इतके असते. इथे K हा एक स्थिरांक आहे. परंतु चुंबकीय ध्रुव स्वतंत्र स्थितीत सापडत नाहीत. ते नेहमी जोडीने – उत्तर व दक्षिण ध्रुव शेजारी असे – सापडतात. असे ध्रुव युगल (Dipoles) यांतसुद्धा एकमेकांवर आकर्षण किंवा प्रतिकर्षणाचे बळ काम करते. ह्या वळाची दिशा आणि शक्ती ही युगले कुठल्या दिशेला तोंड करून आणि किती अंतरावर आहेत यावर अवलंबून असतात. (ध्रुव युगलाची दिशा तिच्या दक्षिण ध्रुवापासून उत्तर ध्रुवाकडे असते.)

ॲम्पियरचा नियम : जर एखाद्या तारेतून विद्युत्भार प्रवास करत असतील तर 'तिच्यात विद्युत्प्रवाह आहे' असे म्हणतो. एखाद्या ठिकाणी किती घनतेचा विद्युतप्रवाह (j) आहे हे मोजायला तिथल्या विद्युतभाराच्या घनतेला (९ = ठराविक घनफलाच्या यूनिटमध्ये समाविष्ट असलेला एकूण विद्युत्भार) प्रवाहाच्या वेगाने (= V) गुणावे लागते :

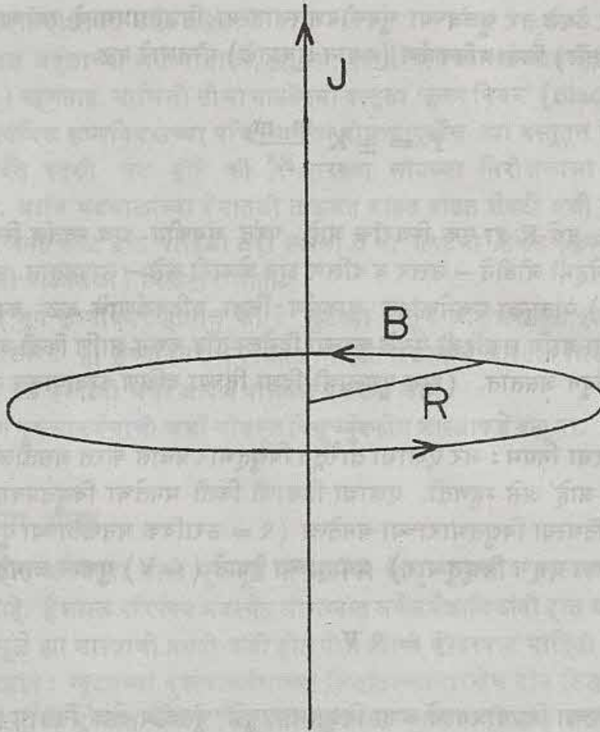
$$j = ९ V$$

ॲम्पियरच्या नियमाप्रमाणे अशा विद्युतभारामुळे 'चुंबकीय क्षेत्र' निर्माण होते. चुंबकीयक्षेत्र (Magnetic Field) म्हणजे : जिथे चुंबकीय बळाचा परिणाम जाणवतो ! * चुंबकीय क्षेत्रात ठेवलेला चुंबक त्या क्षेत्राच्या दिशेने आपली दिशा आणायचा प्रयत्न करतो. पृथ्वीच्या चुंबकीयक्षेत्रामुळेच कुठलाही चुंबक उत्तर-दक्षिण दिशेने आपले तोंड वळवायला बघतो. चित्र क्रमांक–14 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एखाद्या तारेत सरळ दिशेने विद्युत्प्रवाह सोडला तर त्याच्याभोवती गोलाकार दिशेने चुंबकीयक्षेत्र निर्माण होते. त्याची दिशा तारेच्या दिशेशी काटकोन करून असते आणि शक्ती B ही खालील ॲम्पीयरच्या सूत्राने मोजली जाते :

$$B = \frac{2 J}{c^2 R}$$

---

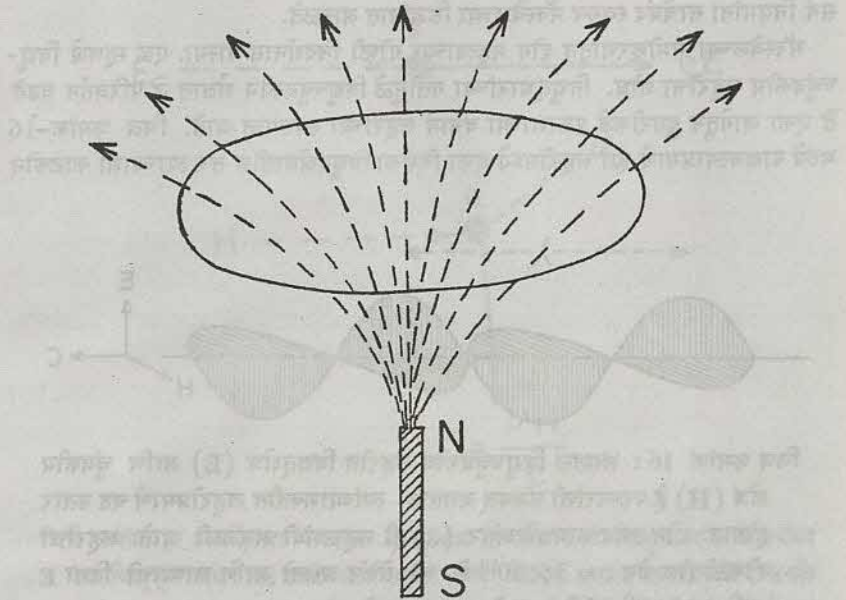
* त्याचप्रमाणे विद्युत्क्षेत्र' (Electric Field) विद्युत्भारांवर परिणाम दाखवते.



चित्र क्रमांक 14 : एका सरळ तारेतून जर J ह्या शक्तीचा विद्युत्प्रवाह सोडला तर त्या तारेभोवती वर्तुळाकार कक्षांचे चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होते. ह्या कक्षा तारेला लंबवत् असतात. चित्रात दाखवलेल्या वर्तुळातील चुंबकीय क्षेत्राची शक्ती $B=2J/c^2 R$ इतकी असते.

ह्या सूत्रात R= जिथे चुंबकीय क्षेत्रातील शक्ती मोजली जाणार त्या बिंदूचे तारेपासूनचे अंतर आणि c= प्रकाशाचा वेग. त्या तारेतून वाहणारा एकूण विद्युतप्रवाह J इतका आहे. विद्युतशास्त्राचा चुंबकीय शास्त्राशी संबंध आहे हे ॲम्पियरच्या नियमाने प्रथम निदर्शनास आणले.

फॅरॅडेचा नियम : हा पण विद्युत्शास्त्राचा चुम्बकीयशास्त्राशी असलेला संबंध दाखवतो. चित्र क्रमांक 15 मध्ये एक तारेचा फास (Loop) दाखवला आहे. त्यातून जाणारे चुंबकीय क्षेत्र जर एकदम बदलले (चित्रात दाखवल्याप्रमाणे एक चुंबक फासाजवळ वेगाने



चित्र क्रमांक 15 : फॅरडेच्या नियमाप्रमाणे जर चित्रातील चुंबक खालीवर केला तर त्या फासातून जाणाऱ्या चुंबकीयक्षेत्रात बदल होईल आणि त्यामुळे फासात विद्युत्प्रवाह तयार होईल. ह्याच सिद्धांतावर डायनॅमो तयार केले जातात.

हालवल्यास हे घडू शकेल) तर त्यांत विद्युत्प्रवाह निर्माण होतो.

फॅरॅडेच्या ह्या नियमाचा वापर करूनच विद्युत्निर्मिती करणारे डायनॅमो बनवले जातात.

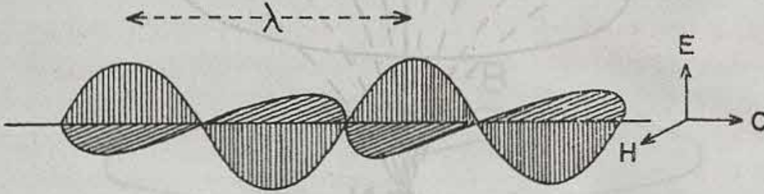
मॅक्स्वेलचे सिद्धांत : कूलंब, ॲम्पियर आणि फॅरॅडे यांच्या नियमांचा एकत्र समावेश करून विद्युच्चुम्बकीय शास्त्राचे मूल नियम बनवण्याचे काम मॅक्स्वेलने 1864 साली केले. मॅक्स्वेलच्या समीकरणांतून खालील माहिती मिळते :

1. विद्युत्भारापासून विद्युत्-क्षेत्र कसे तयार होते.
2. चुम्बकीय ध्रुव स्वतंत्र स्थितीत वावरत नाहीत.
3. विद्युत्प्रवाहामुळे चुंबकीय क्षेत्र तयार होते.
4. बदलत्या चुंबकीय क्षेत्रामुळे विद्युत्क्षेत्रात अवकाशातले बदल घडून येतात.

ह्यापैकी (1) व (2) हे कूलंबच्या नियमांचीच वेगळीरूपे आहेत तर (4) हा फॅरॅडेचा नियम आणि (3) हा ॲम्पियरच्या नियमात भर टाकून मॅक्स्वेलने बनवलेला नियम. ह्या

सर्व नियमांना साचेबंद स्वरूप मॅक्स्वेलच्या सिद्धांतात आढळते.

मॅक्स्वेलच्या समीकरणांतून दोन महत्वाच्या गोष्टी निदर्शनास आल्या. एक म्हणजे विद्यु-च्चुंबकीय लहरींचा शोध. विद्युत्भारांच्या गतीमुळे विद्युच्चुंबकीय क्षेत्रात जे परिवर्तन घडते ते एका जागेतून दुसरीकडे प्रकाशाच्या वेगाने लहरींच्या स्वरूपात जाते. चित्र क्रमांक–16 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ह्या लहरींमध्ये एका दिशेला विद्युतक्षेत्रातील तर त्याच्याशी काटकोन

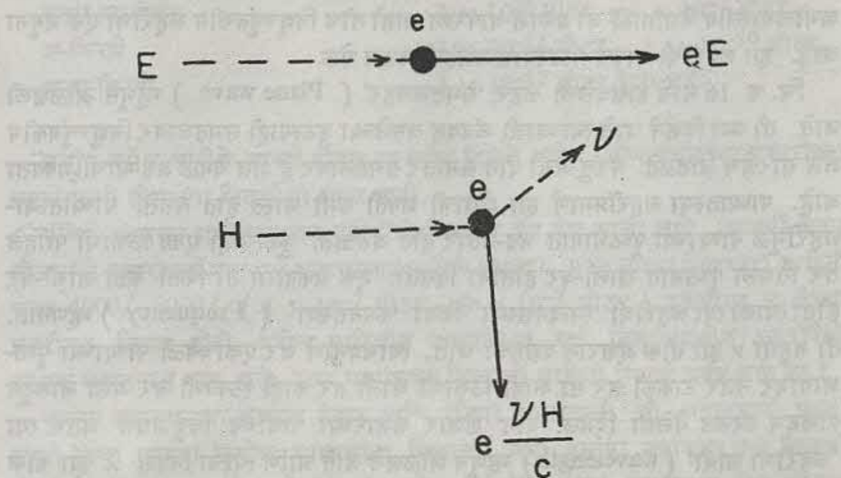


चित्र क्रमांक 16 : समतल विद्युच्चुंबकीय लहरीत विद्यत्क्षेत्र (E) आणि चुंबकीय क्षेत्र (H) हे परस्परांशी लंबवत् असतात. त्यांच्याशक्तीत लहरीप्रमाणे चढ उतार होतात. दोन उच्चांकामधले अंतर (λ) ही लहरलांबी समजली जाते. लहरींचा पोकळीतील वेग $c = 3 \times 10^{10}$ से. मी. सेकंद असतो आणि जाण्याची दिशा E आणि H च्या दिशांशी काटकोन करून असते.

करून असलेल्या एका दिशेत चुंबकीय क्षेत्रातील बदल घडून येतात आणि खुद्द त्या लहरीच्या गतीची दिशा ह्या दोन्ही दिशांशी काटकोन करून असते. आणि प्रकाश हा पण विद्युच्चुंबकीय लहरींचाच प्रकार आहे हे मॅक्स्वेलच्या समीकरणांतून स्पष्ट झाले.

दुसरी महत्वाची गोष्ट म्हणजे अशी. असे जर मानले की न्यूटनची काल-अवकाशाबद्दलची कल्पना बरोबर आहे तर मॅक्स्वेलच्या नियमांत एक विसंगती दिसून येते. समजा A हा निरीक्षक मॅक्स्वेलची समीकरणे मांडतो आणि त्यातून उत्तर काढतो की प्रकाशाचा वेग c = 3 लाख कि. मी. प्रतिसेकंद इतका आहे. जर B हा एक वेगळा निरीक्षक ज्याची A ने मोजलेली गति V आहे, मॅक्स्वेलची समीकरणे मांडू लागला तर त्याला काय आढळेल ? पूर्वी सांगितल्याप्रमाणे जर A आणि B हे जड्त्वनिष्ठ निरीक्षक असले तर त्यांना ही समीकरणे सारख्याच स्वरूपात मांडता आली पाहिजेत. याचा अर्थ B ने मांडलेली समीकरणे A प्रमाणेच असून त्याचे निष्कर्ष A प्रमाणेच पाहिजेत. परंतु ह्या निष्कर्षाप्रमाणे प्रकाशाचा वेग A आणि B दोघांनी सारखाच मोजला पाहिजे.

आपण पूर्वी पाहिल्याप्रमाणे न्यूटनच्या काल-अवकाशाच्या कल्पनांप्रमाणे हे अशक्य आहे. अर्थातच ही विसंगती सोडवण्यासाठी आइन्स्टाइनला न्यूटनच्या कल्पना आमूलाग्र बदलाव्या



चित्र क्रमांक 17 : पहिल्या भागात विद्युत्क्षेत्र E मध्ये एक विद्युत्भार e ठेवल्यास त्या विद्युत्भारावर eE इतके बळ विद्युत्क्षेत्राच्या दिशेने प्रभाव टाकते असे दाखवले आहे. दुसऱ्या भागात, जर विद्युत्भाराचा वेग चुंबकीयक्षेत्रा (H) च्या दिशेच्या लंबवत् दिशेत ν इतका असेल तर त्यावर $e\nu H/c$ इतके बळ H आणि ν च्या दिशांशी काटकोन करून प्रभाव टाकताना दाखवले आहे.

लागल्या. अशातऱ्हेने मॅक्स्वेलच्या समीकरणांनी विवक्षित सापेक्षतेचे युग सुरू करण्यात महत्त्वाचा हातभार लावला असे म्हणायला हरकत नाही.

लॉरेंझचे गतीचे नियम : मॅक्स्वेलच्या नियमाप्रमाणे विद्युत्भारांमुळे विद्युच्चुंबकीय क्षेत्र कसे तयार होते, त्यांत बदल कसे घडून येतात वगैरे कळते. परंतु खुद्द विद्युत्भारांवर ह्या क्षेत्राचा कसा परिणाम होतो ते त्या समीकरणांतून कळत नाही. त्यासाठी लॉरेंझ ह्या शास्त्रज्ञाने मांडलेली समीकरणे उपयोगी पडतात. चित्र क्रमांक 17 मध्ये विद्युच्चुंबकीय क्षेत्रामुळे फिरणाऱ्या विद्युत्भारावर कोणत्या प्रकारचे बळ प्रभाव दाखवते याची थोडक्यात चर्चा केली आहे.

विद्युच्चुंबकीय लहरी

खगोलशास्त्रज्ञाला विद्युच्चुंबकीय शास्त्राचा उपयोग कसा होतो ? एक अतिशय महत्त्वाचा उपयोग (ज्याच्या शिवाय खगोलशास्त्र मुळी अस्तित्वातच आले नसते !) म्हणजे वेधांसाठी.

खगोलशास्त्रीय वेधांसाठी जो प्रकाश वापरला जातो तोच विद्युच्चुंबकीय लहरींचा एक नमुना आहे. ह्या लहरींची आपण थोडक्यात माहिती करून घेऊ.

चि. क्र 16 मध्ये दाखवलेली लहर 'समतललहर' (Plane wave) म्हणून ओळखली जाते. ती ज्या दिशेने जाते त्याच्याशी लंबवत् असलेल्या कुठल्याही समतलावर विद्युच्चुंबकीय क्षेत्र सारखेच आढळते. परंतु अशा दोन समांतर समतलावर हे क्षेत्र वेगळे असण्याची शक्यता आहे. पाण्यातल्या लहरींप्रमाणे ह्या क्षेत्राची शक्ती कमी जास्त होत असते. पाण्यातल्या-लहरींमुळे पाण्याच्या पृष्ठभागात चढ-उतार होत असतात. कुठल्याही एका ठिकाणी पाहिले तर तिथला पृष्ठभाग खाली-वर होताना दिसतो. एक सेकंदाला तो किती वेळा खाली-वर होतो त्याला त्या लहरीची 'स्पन्दनसंख्या' किंवा 'कंपनसंख्या' (Frequency) म्हणतात. ती बहुधा ν ह्या ग्रीक अक्षराने दर्शवली जाते. त्याचप्रमाणे जर एकाचवेळी पाण्याच्या पृष्ठ-भागावर नजर टाकली तर तो काही ठिकाणी खाली तर काही ठिकाणी वर असा आलटून पालटून बदलत गेलेला दिसेल. दोन शेजार शेजारच्या 'सर्वोच्च बिंदू'मधले अंतर त्या 'लहरीची लांबी' (wavelength) म्हणून ओळखले जाते आणि त्याचा निर्देश λ ह्या ग्रीक अक्षराने केला जातो. ν ला λ ने गुणले की आपल्याला लहरींचा वेग मिळतो.

बरोबर हाच नियम विद्युच्चुंबकीय लहरींना लागू पडतो. चित्र क्रमांक 16 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे दोन शेजारच्या विद्युत्क्षेत्राच्या (किंवा चुंबकीय क्षेत्राच्या) उच्चांकाच्या ठिकाणामधले अंतर λ ने दर्शविले आहे. आणि ह्या लहरींचा वेग c (= प्रकाशाचा वेग) असल्याने

$$\nu \times \lambda = c$$

हा नियम ह्या लहरींना लागू पडतो.

आपल्या डोळ्यांना दिसतो तो प्रकाश ज्या लहरींचा बनलेला आहे त्यांची लहर-लांबी 4000 → 8000 Å (Å ≡ Angstrom; अँगस्ट्रॉम म्हणजे मिलीमीटरचा कोटयांश) च्या दरम्यान असते. याहून कमी जास्त लांबीच्या विद्युच्चुंबकीय लहरी अर्थातच अस्तित्वात असूनसुद्धा आपल्या डोळ्यांना त्यांची जाणीव होत नाही. त्यांना त्यांच्या लहरीलांबीनुसार वेगवेगळी नावे दिली आहेत ती खालीलप्रमाणे आहेत :

लहरींचे नाव	लांबी
रेडिओ	100 सेंटीमीटरहून जास्त
सूक्ष्म तरंग	3×10^{-4} मीटर → 100 सेंटीमीटर
इन्फ्रारेड	8×10^{-7} मीटर → 3×10^{-4} मीटर
दृश्य प्रकाश	4×10^{-7} मीटर → 8×10^{-7} मीटर

अल्ट्रा व्हायोलेट	3×10^{10} मीटर → 4×10^{-7} मीटर
क्ष-किरणे	3×10^{-12} मीटर → 3×10^{-10} मीटर
गामा-किरणे	3×10^{-12} मीटर पेक्षा कमी

अर्थात वरील लांबीचे आकडे ढोबळ स्वरूपात दिलेले आहेत. दोन जवळच्या प्रकारांच्या लहरींमधली सीमारेषा तितकीशी स्पष्ट नाही.

गॅलिलिओपासून खगोलशास्त्रज्ञ दुर्बिणींनी विश्वाचे वेध घेत आला आहे. त्यापूर्वी केवळ डोळ्यांनी हजारो वर्षे मानवाने आकाशाकडे पाहिले असणार. परंतु त्याला मिळणारी माहिती फक्त 4000Å–8000Å (4×10^{-7} मीटर → 8×10^{-7} मीटर) इतक्याच लांबीच्या लहरीतून मिळत होती. वरील सारिणीत दाखवलेल्या सर्व विद्युच्चुंबकीय लहरींपैकी हा एक लहानसाच भाग आहे. इतर भागांकडून विश्वाची माहिती मिळणे शक्य आहे का ?

दुसऱ्या महायुद्धाच्या काळात रेडार आणि रेडियो तंत्रज्ञानाची जी झपाट्याने प्रगती झाली तिचा फायदा खगोल शास्त्रज्ञांना मिळाला. जरी दुसऱ्या महायुद्धा पूर्वी जान्स्की (Jansky) नावाच्या तंत्रज्ञाने रेडिओलहरींचा उपयोग करून आकाशाचे वेध घेण्यास सुरवात केली होती तरी त्यांचा मोठ्या प्रमाणावर उपयोग 1945 नंतर चालू झाला. रेडिओ खगोलशास्त्र ही नवी शाखा त्या सुमाराला उदयाला आली. मायक्रोवेव्हचे काही भाग आणि इन्फ्रारेडमधले काही भाग सोडल्यास रेडिओ खगोलशास्त्र हे असे एकच नवे वेधात्मक शास्त्र आहे जिच्या दुर्बिणी दृश्यप्रकाशाच्या दुर्बिणीप्रमाणे पृथ्वीतलावरून आकाशाचे वेध घेऊ शकतात. इतर लांबीच्या विद्युच्चुंबकीय लहरी बाहेरून पृथ्वीतलावर पोचण्यापूर्वीच पृथ्वीभोवतालच्या वायुमंडलात शोषल्या जातात. हे एकापरीनें मानवाला हितावहच आहे कारण नाहीतर प्रखर शक्तीच्या अल्ट्राव्हायोलेट, क्ष आणि गामा किरणांपुढे त्याचा निभाव लागला नसता.

मात्र 1957 पासून अंतराळ युगाला सुरवात झाल्यावर वायुमंडलात वरपर्यंत रॉकेट्स किंवा अंतराळ याने पाठवून त्यातील उपकरणात ह्या किरणांची मोजमाप करणे शक्य झाले. गेल्या दोन दशकात अंतराळ-खगोलशास्त्राने विश्वाबद्दल बरीच नवी, मनोरंजक व गूढ अशी माहिती पुरवली आहे. तिची चर्चा ओघाओघाने येईलच.

परंतु अशी माहिती मिळायला विश्वात अशातऱ्हेच्या किरणांचे स्त्रोत असणे आवश्यक आहे. ज्याप्रमाणे ताऱ्यापासून दृश्यप्रकाश मिळतो तसे रेडिओ लहरींचे प्रक्षेपक अंतराळात आहेत का ? त्याचप्रमाणे, अंतराळातील उपकरणात शिरणाऱ्या क्ष किंवा गामा किरणांच्या लहरी कुठून येतात ? ह्या प्रश्नांची उत्तरे मिळवण्यापूर्वी आपण विद्युच्चुंबकीय प्रारणाचे विविध प्रकार पाहूया.

प्रारणाचे प्रकार

जेव्हा ऊर्जा एका स्थानापासून दुसऱ्या स्थानाकडे लहरींच्या स्वरूपात प्रकाशाच्या वेगाने जाते तेव्हा ऊर्जेचे प्रारण होत आहे असे म्हणतात. अर्थात् अजूनपर्यंत भौतिकशास्त्रात फक्त विद्युच्चुंबकीय प्रारणाचेच विविध प्रकार चर्चिले गेले आहेत. अशा प्रारणाद्वारे विद्युतच्चुंबकीय ऊर्जा तिच्या उगम स्थानापासून दुसरीकडे पोचवली जाते. आइन्स्टाइनच्या सापेक्षवादाच्या गुरुत्वाकर्षण सिद्धांतानंतर गुरुत्वाकर्षणाचे प्रारण असण्याची शक्यता पण निर्माण झाली. परंतु हे प्रारण अद्याप पृथ्वीवरील प्रयोगशाळात तयार करणे किंवा त्याचा तपास, मोजमाप वगैरे करणे निर्विवादरीत्या साध्य झाले नाही.[3] कदाचित् पुढेमागे खगोलशास्त्रज्ञाला विश्वात अशा प्रारणाची प्रचंड उगमस्थाने सापडतील आणि त्यावरून त्याचे अस्तित्व सिद्ध होईल.

आपली चर्चा जर विद्युच्चुंबकीय शास्त्रापुरतीच मर्यादित ठेवली तर खगोलशास्त्रज्ञाला उपयोगी पडणारे प्रारणाचे काही प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत. ह्या सर्वांच्या मुळाशी एक मूलभूत नियम आहे तो असा की विद्युत्भारांच्या त्वरणामुळे प्रारण तयार होते.

1. त्वरणजनित प्रारण : (Bremmstrahlung) याचा अर्थ नावाप्रमाणेच आहे. जेव्हा एखाद्या विद्युत्भाराच्या गतीत दिशेचा किंवा परिमाणाचा (किंवा दोन्ही तऱ्हेचा) फरक पडतो तेव्हा त्यातून विद्युच्चुंबकीय लहरींचे प्रक्षेपण होते. अशा प्रक्षेपणातून ऊर्जा लांबवर फेकली जाते आणि त्यामुळे त्या विद्युत्भाराचा वेग कमी होतो.

जेव्हा गॅसचे तपमान पुष्कळ जास्त असते (म्हणजे सुमारे 1000^0K किंवा जास्तच : ^{0}K म्हणजे तपमानाची मोजण्याची परमश्रेणी (Absolute scale), $1^\circ K = 1^\circ$ सेल्सियस पण 0^0 सेल्सियस हे जवळ जवळ 273^0K पासून सुरू होते.) तेव्हा अणूचे विच्छेदन होऊन त्यातले धनात्मक गर्भभाग ऋणात्मक विद्युत्भाराच्या इलेक्ट्रॉन्सपासून वेगळे होतात (अणुच्याबद्दल सविस्तर माहिती पुढे येईल). अशा परिस्थितीत मोकळे झालेले इलेक्ट्रॉन्स फिरता फिरता ह्या गर्भभागांशी (त्यांना आयन्स : ions म्हणतात) टक्कर खातात. अशा टकरीत इलेक्ट्रॉन्सचे वेग बदलून त्यांतून त्वरजनित प्रारण बाहेर पडते. अशा प्रारणाच्या शक्ती आणि इतर गुणाचा मूळ गॅसच्या तपमानाशी आणि इलेक्ट्रॉन-आयन-घनतेशी संबंध लावता येतो.

2. सिक्रोट्रॉन प्रारण : चित्र क्रमांक 18 मध्ये बाणाच्या दिशेने सर्वत्र समांतर असे चुंबकीय क्षेत्र B हे दाखवले आहे. त्याच्यावर लंबवत् असलेल्या एका समतलात इलेक्ट्रॉन फिरताना दाखवला आहे. जर ह्या इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमान m आणि विद्युत्भार e असेल तर तो ह्या चुंबकीय क्षेत्रात एका ठराविक अर्धव्यासाच्या वर्तुळात फिरेल. तो अर्धव्यास किती ते आप-

---

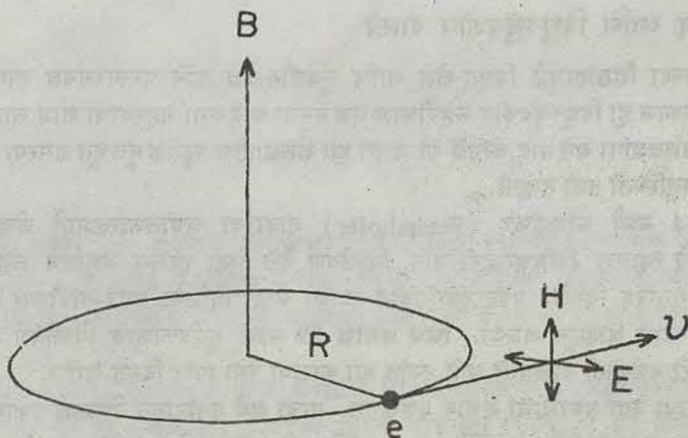
3. अमेरिकेतील मेरिलंड विद्यापीठातील प्राध्यापक वेबर यांनी असे प्रारण शोधल्याचा दावा केला आहे परंतु तो सर्वमान्य झालेला नाही.

त्याला लॉरेंझच्या नियमावरून काढता येईल. उत्तर आहे :

$$R = \frac{mcv}{eB\sqrt{\frac{1-\nu^2}{c^2}}}$$

वरील सूत्रात ν म्हणजे इलेक्ट्रॉनचा वर्तुळातील फिरण्याचा वेग.

वर्तुळात फिरत असल्याने ह्या इलेक्ट्रॉनची दिशासारखी बदलते. त्यामुळे त्याच्या त्वरणातून प्रारण निघते. चित्र क्रमांक 18 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे हे प्रारण बहुतेक त्याच्या फिरण्याच्या दिशेने (म्हणजे समोर) फेकले जाते. तसेच चित्रात दाखवल्याप्रमाणे त्या प्रारणातील विद्यु-च्चुंबकीय लहरीतील दोन्ही क्षेत्रे ठराविक दिशांमध्ये आढळतात. अशा प्रारणाला दिशादेशित प्रारण म्हणतात.



चित्र क्रमांक 18 : चुंबकीय क्षेत्रा (B) च्या लंबवत् समतलात गोल वर्तुळात फिरणारा विद्युतभार आपले बहुतेक प्रारण आपल्या गती (v) च्या दिशेने फेकतो. त्याप्रारणातील विद्युचुंबकीयक्षेत्राच्या दिशा अनुक्रमे R आणि B च्या समांतर असतात.

3. उलटा कॉम्प्टन इफेक्ट : 1923 मध्ये कॉम्प्टन याने प्रयोगानिशी दाखवले की कमी अणुभार (Atomic weight) असलेल्या तत्त्वांपासून बनलेल्या वस्तूंवर प्रकाश किरण टाकले की ते शोषले जाऊन नवीन कमी स्पंदनसंख्येचे प्रकाशकिरण बाहेर पडतात. याचे कारण अशा वस्तूंच्या पृष्ठभागावर इलेक्ट्रॉन मुक्त स्वरूपात (म्हणजे अणुगर्भांना

न बांधलेले) फिरतात आणि ते प्रकाशाची ऊर्जा बळकावतात. म्हणून बाहेर पडलेला प्रकाश मूळ प्रकाशापेक्षा कमी ऊर्जेच्या कणांनी बनलेला असतो. पुंजवादाने प्रकाशाची जी माहिती पुरवली (पुढे याची चर्चा पहा !) त्यावरून ऊर्जेचा आणि स्पंदनसंख्येचा संबंध आहे असे दिसून येते. प्रकाशकणांची ऊर्जा त्यांच्या स्पंदनसंख्येच्या समप्रमाणात कमी जास्त होते. अशातऱ्हेने स्पंदनसंख्या कमी होणे याला कॉम्प्टन इफेक्ट म्हणतात.

परंतु ह्याउलट जर इलेक्ट्रॉन वेगाने जात असेल आणि त्यावर एक कमी ऊर्जेचा प्रकाशकण जर आदळला तर त्यामुळे इलेक्ट्रॉनचा वेग कमी होईल आणि प्रकाशकणाची ऊर्जा वाढेल. हा नवीन प्रकाशकण अधिक स्पंदन संख्येचा असेल. अशातऱ्हेने उलटया कॉम्प्टन इफेक्टच्या-द्वारे अधिक स्पंदनसंख्या असलेल्या विद्युतलहरींचे प्रारण तयार होते. उदाहरणार्थ दृश्य-प्रकाशाचे अशाप्रकारे क्ष-किरणात रूपांतर होऊ शकेल.

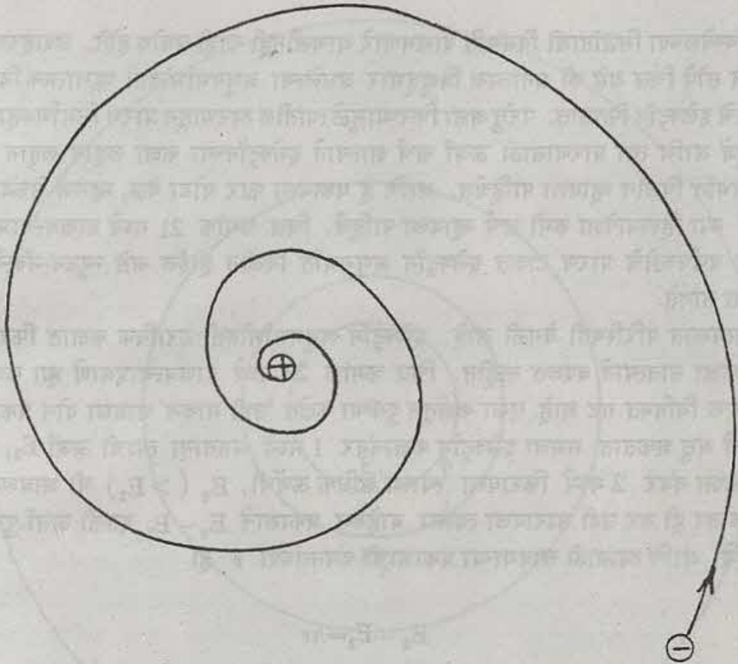
पुंजवाद आणि विद्युच्चुंबकीय शास्त्र

मॅक्स्वेलच्या सिद्धांतामुळे विद्युत्-क्षेत्र आणि चुंबकीय-क्षेत्र यांचे परस्परसंबंध स्पष्ट झाले आणि प्रकाश हा विद्युच्चुंबकीय लहरींचाच एक नमूना आहे असा महत्त्वाचा शोध लागल्यावर अनेक शास्त्रज्ञांना असे वाटू लागले की आता ह्या शास्त्रातील बहुतेक मूलभूत समस्या सुटल्या. परंतु वस्तुस्थिति तशी नव्हती.

1814 मध्ये फ्रॉनहॉफर (Fraunhofer) नावाच्या खगोलशास्त्रज्ञाने जेव्हा सूर्य-प्रकाशाचे त्याच्या विभिन्नलहरींच्यात विश्लेषण केले तेव्हा त्याला अर्थातच लहरलांबी-प्रमाणे सातरंग दिसले. परंतु त्याशिवाय त्याला काही विशिष्ट लहर-लांबीच्या ठिकाणी काळ्या रेषा आढळून आल्या. **चित्र क्रमांक 19** मध्ये सूर्यप्रकाशाचे विश्लेषण केलावर दिसणारी वर्णपंक्ती दाखवली आहे. त्यांत ह्या काळ्या रेषा स्पष्ट दिसत आहेत.

काळ्या रेषा प्रकाशाचा अभाव दर्शवतात. याचा अर्थ सूर्यापासून येणाऱ्या प्रकाशलहरीं-पैकी नेमक्या काही विशिष्ट लांबीच्याच लहरींचे वाटेत शोषण होत असावे. पण ते का आणि कसे याचे निदान शास्त्रज्ञांना केवळ मॅक्स्वेलच्या आराखड्यात करता येत नव्हते.

तारे, आकाशगंगा, इतर तारकाविश्वे, किंवा क्वेसार यांच्या प्रकाशाचे विश्लेषण केले की सर्वसाधारणपणे तीन प्रकारच्या गोष्टी आढळतात. एक म्हणजे संतत वर्णपंक्ती (continuous spectrum), जिच्यात ठराविक लहरलांबीच्या मर्यादेत सर्व लांबींचा प्रकाश असतो. दुसरा प्रकार आढळतो तो फ्रॉनहॉफरने पाहिल्याप्रमाणे काही ठराविक लहरलांबीच्या काळ्यारेषांचा. यांना शोषणरेषा (absorption lines) म्हणतात. त्याउलट संतत वर्ण-पंक्तीच्या पार्श्वभूमिवर उठून दिसणाऱ्या काही चमकदार रेषा (emission lines) पण काही वर्णपंक्तीत आढळतात ह्या पण ठराविक लहरलांबीच्याच असतात. **(पहा चि. क्र. 20)**



चित्र क्रमांक 21 : मॅक्स्वेल लॉरेंझच्या नियमाप्रमाणे अणूतला ऋणात्मक विद्युत्-भाराचा इलेक्ट्रॉन स्प्रिंगप्रमाणे कक्षेत फिरत फिरत शेवटी केंद्रस्थानी असलेल्या धनात्मक अणुगर्भावर आदळेल. प्रत्यक्षात काय घडते ते चि. क्र. 22 मध्ये पहा.

तुलना करायची तर संख्यांशी करू. 0 आणि 10 असे आकडे एका सरळरेषेवर काढले तर त्यांच्या दरम्यानच्या संख्या त्या रेषेवरील बिंदूंनी दाखवता येतील. हे सर्व बिंदू 0 आणि 10 ह्या सीमाबिंदूंच्या दरम्यान असून त्यांचा सट हा संतत सट (Continuous set) आहे. त्याउलट 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 हे अंक हे 0 आणि 10 च्या दरम्यानच्या संख्यांचा एक विविक्त सट (Discrete set) आहेत. संतत वर्णपंक्तीची तुलना संतत सटाशी तर शोषणरेषा अथवा चमकदार रेषांची तुलना विविक्त सटाशी करता येईल.

न्यूटन आणि मॅक्स्वेलच्या भौतिकशास्त्रात अशा विविक्त सटांना काही स्थान नव्हते. त्यामुळे प्रयोगांती जेव्हा असे आढळून आले की चमकदार रेषा ह्या उच्च तपमानाच्या अणु-रेणू संचयातून येतात किंवा शोषणरेषा अणुरेणू संचयात प्रकाश शोषल्यामुळे तयार होतात तेव्हा ह्यांची कारणमीमांसा कशी करायची हा भौतिकशास्त्रज्ञांपुढे गहन प्रश्न होता.

मॅक्स्वेलच्या सिद्धांताशी विसंगति दाखवणारे आणखीनही काही प्रयोग होते. उदाहरणार्थ, अणुचे सोपे चित्र असे की धनात्मक विद्युत्भार असलेल्या अणुगर्भाभोवती ऋणात्मक विद्युत्भाराचे इलेक्ट्रॉन फिरतात. परंतु अशा फिरण्यामुळे त्यांतील त्वरणातून प्रारण निर्माण व्हायला पाहिजे आणि त्या प्रारणासाठी ऊर्जा खर्च झाल्याने इलेक्ट्रॉनच्या कक्षा लहान लहान होत अणुगर्भात विलीन व्हायला पाहिजेत. आणि हे घडायला फार थोडा वेळ, म्हणजे सेकंदाच्या 10^{18} व्या हिश्श्यापेक्षा कमी खर्च व्हायला पाहिजे. चित्र क्रमांक 21 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे संतत वर्णपंक्तीचे प्रारण टाकत इलेक्ट्रॉन अणुगर्भात विलीन होईल असे न्यूटन-मॅक्स्वेलचे गणित सांगते.

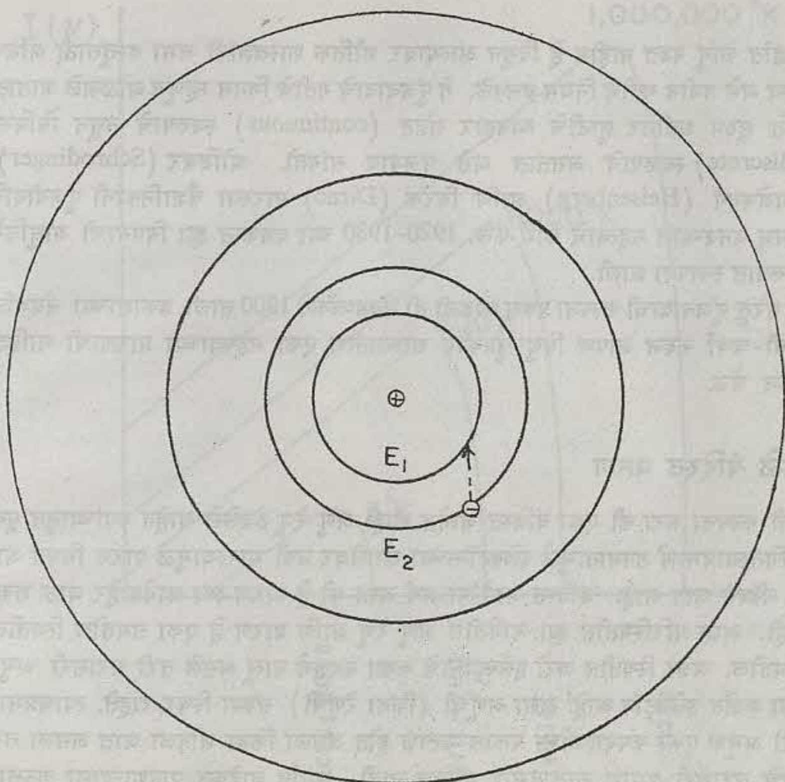
प्रत्यक्षात परिस्थिती वेगळी आहे. इलेक्ट्रॉन अणुगर्भाभोवती ठराविक कक्षात फिरतात. ह्या कक्षा सातत्याने बदलत नाहीत. चित्र क्रमांक 22 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ह्या कक्षांचा सट एक विविक्त सट आहे. एका कक्षेतून दुसऱ्या कक्षेत 'उडी मारून' जायला दोन प्रकारची कारणे असू शकतात. समजा इलेक्ट्रॉन कक्षानंबर 1 मध्ये असताना त्याची ऊर्जा E_1, आहे. जर कक्षा नंबर 2 मध्ये फिरायला त्याला अधिक ऊर्जेची, E_2 ($>E_1$) ची आवश्यकता असेल तर ही वर उडी मारायला त्याला बाहेरून प्रकाशाने $E_2 - E_1$ इतकी ऊर्जा पुरवली पाहिजे. आणि त्यासाठी लागणाऱ्या प्रकाशाची कंपनसंख्या ν ही

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

ह्या सूत्राने दिली जाते. येथे h हा प्लॅंकचा स्थिरांक (Planck's constant) आहे प्रयोगांवरून $h \backsimeq 6 \times 10^{-27}$ अर्ग-सेकंद.

त्याउलट जर इलेक्ट्रॉन कक्षा नं. 2 मध्ये फिरत असेल तर त्याला कक्षा नं. 1 मध्ये जायला दोन मार्ग आहेत. एक म्हणजे वर सांगितलेल्या कंपनसंख्येचे प्रारण जर आजूबाजूला असले तर त्याने प्रेरित होऊन इलेक्ट्रॉन उडी मारून कक्षा नं. 1 गाठेल. किंवा प्रारण नसले तरी तो स्वयंस्फूर्त उडी मारू शकतो. मात्र ही स्वयंस्फूर्त उडी तो वरून खालीच (कक्षा नं. 2 पासून कक्षा नं. 1 कडे) मारू शकतो, खालून वर नाही ! आणि अशी उडी मारताना तो वरील कंपनसंख्येचा प्रकाश सोडतो.

अधिक तपमानाच्या अणूंमध्ये इलेक्ट्रॉन बहुतेक 'वरच्या' (अधिक ऊर्जेच्या) कक्षात असतात आणि कधी कधी खाली उडी मारून विशिष्ट कंपनसंख्येच्या प्रकाशलहरी सोडतात. त्या आपल्याला चमकदार रेषांच्या स्वरूपात वर्णपंक्तीत दिसतात. त्याउलट कमी तपमानाच्या अणुसंचयात इलेक्ट्रॉन खालच्या कक्षांत असतात आणि ते त्यांतून जाणाऱ्या प्रारणातून ठराविक कंपनसंख्येचा प्रकाश शोषून वर उडी मारतात. त्यामुळे शोषणरेषा त्या प्रारणाच्या वर्णपंक्तीत दिसतात. रेणूंबाबतीत असेच नियम लागू आहेत, फक्त तेथील कक्षा



चित्र क्रमांक 22 : अणुतील इलेक्ट्रॉन काही विविक्त सटातील कक्षातच फिरतो. जर त्याने अधिक उर्जेच्या (E_2) कक्षेतून कमी उर्जेच्या (E_1) कक्षेत उडी मारली तर $E_2 - E_1$ इतकी उर्जा प्रकाशकणाच्या रूपाने बाहेर पडते.

ऊर्जेशिवाय आणखी अनेक गुणांनी ठरवल्या जातात.

खगोलशास्त्रज्ञाला मात्र याचा उपयोग असा होतो की वर्णपंक्तीतील रेषांवरून तो हे निदान करू शकतो की ह्या चमकदार रेषा किंवा शोषणरेषा कुठल्या अणू (किंवा रेणू) मुळे आल्या आहेत. चित्र क्रमांक 76 मधल्या काळ्या रेषा ह्या कॅल्शियमच्या H आणि K रेषा म्हणून ओळखल्या जातात.

परंतु इलेक्ट्रॉन सरळ सरळ छोट्या होणाऱ्या वर्तुळांतून न जाता अशा वर खाली उड्या का मारतो याचे उत्तर न्यूटनचे गतीचे सिद्धांत देऊ शकले नाहीत. अतिसूक्ष्म वस्तूंना हे

सिद्धांत लागू पडत नाहीत हे दिसून आल्यावर भौतिक शास्त्रज्ञांनी अशा वस्तूंसाठी अधिक योग्य असे नवीन गतीचे नियम बनवले. ते पुंजवादाचे गतीचे नियम म्हणून ओळखले जातात. अति सूक्ष्म धर्तीवर सृष्टीचे व्यवहार संतत (continuous) स्वरूपाचे नसून विविक्त (discrete) स्वरूपाचे असतात असे पुंजवाद सांगतो. श्रोडिंजर (Schrodinger), हायजेनबर्ग (Heisenberg) आणि डिरॅक (Dirac) सारख्या वैज्ञानिकांनी पुंजवादाचे नियम बनवण्यात महत्वाचे कार्य केले. 1920–1930 च्या दशकात ह्या विषयाची आधुनिक स्वरूपात स्थापना झाली.

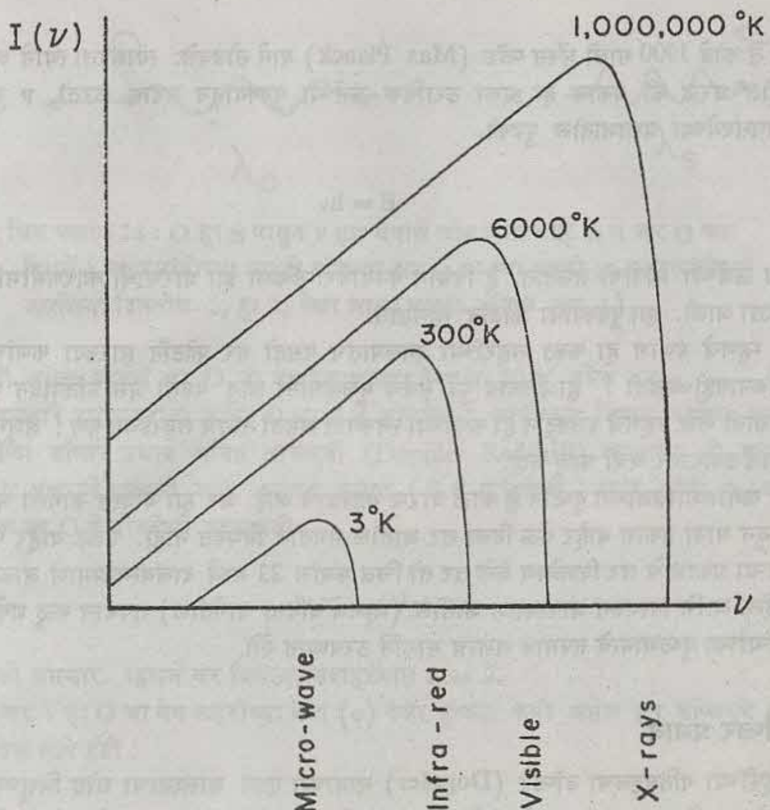
परंतु पुंजवादाची कल्पना प्रथम मांडली ती मॅक्सप्लँकने 1900 साली प्रकाशाच्या संदर्भात. तिची-चर्चा करून आपण विद्युच्चुंबकीय शास्त्रातील एका महत्त्वाच्या प्रारणाची माहिती करून घेऊ.

काळे बंदिस्त प्रारण

अशी कल्पना करा की एका बंदिस्त जागेत काही अणु रेणू ठेवलेले आहेत ज्यांच्यातून पूर्वी सांगितल्याप्रमाणे तपमानामुळे इलेक्ट्रॉन्सच्या खालीवर उडी मारल्यामुळे प्रारण निघत आहे वा शोषले जात आहे. 'बंदिस्त जागे'चा अर्थ असा की हे प्रारण त्या जागेबाहेर जाऊ शकत नाही. अशा परिस्थितीत ह्या जागेतील अणू रेणू आणि प्रारण हे एका समतोल स्थितीला पोचतील. अशा स्थितीत जरी इलेक्ट्रॉन्सचे कक्षा बदलणे चालू असले तरी सरासरी 'अमुक एका कक्षेत इलेक्ट्रॉन आहे' अशा अणूंची (किंवा रेणूंची) संख्या स्थिर राहते. त्याचप्रमाणे जरी अमूक एका कंपनसंख्येचा प्रकाश उत्पन्न होत असला किंवा शोषला जात असला तरी त्याचे सरासरी प्रमाण कालानुसार बदलत नाही. अर्थात बाहेरून पाहणाऱ्याला कुठलाच प्रकाश (प्रारण) बाहेर येताना दिसत नसल्याने ही बंदिस्त जागा काळीकुट्ट दिसेल. म्हणून या प्रकारच्या प्रारणाला काळे (बंदिस्त) प्रारण (black body radiation) म्हणतात.

चित्र क्रमांक 23 मध्ये असे प्रारण वेगवेगळ्या कंपनसंख्यांच्या विद्युच्चुंबकीय लहरीत कसे वाटले जाते ते दाखवले आहे. सर्वसाधारणपणे कंपनसंख्या ν ही शून्यापासून वाढत गेली की त्यामधले प्रारणाचे प्रमाण प्रथम ν^3 च्या स्वरूपात वाढते. याला रेले-जीन्सचा नियम (Rayleigh Jeans Law) म्हणतात. परंतु एका विशिष्ट कंपनसंख्येची मर्यादा गाठल्यावर त्यापुढे ν ची वाढ झाल्यास त्यातील प्रारण झपाट्याने कमी होते. सर्वात जास्त प्रारण ज्या कंपनसंख्येत असेल ती त्या प्रारणाच्या तपमानाच्या (T) समप्रमाणात वाढते :

$$\nu \propto T$$



चित्र क्रमांक 23: वेगवेगळ्या तपमानाची काळी बंदिस्त प्रारणांच्या तीव्रतेचे कंपनसंख्येनुसार विश्लेषण करणारी रेखाचित्रे. 3° K तपमानाचे प्रारण प्रामुख्याने मायक्रोवेव्हमध्ये तर दहा लाख तपमानाचे प्रारण प्रामुख्याने क्ष-किरणांच्या स्वरूपात असते.

याला वीन (Wien) चा नियम म्हणतात. चित्र क्रमांक 23 मध्ये विविध तपमानाचे प्रारण दाखवले आहे. त्यातून वीनचा नियम स्पष्ट होतो.

जेव्हा गेल्या शतकातल्या शास्त्रज्ञांनी ह्या काळ्या (बंदिस्त) प्रारणाचा अभ्यास केला तेव्हा त्यांना त्याची नीट कारणमीमांसा करता आली नाही. रेले-जीन्सचा नियम कसा निघतो हे स्पष्ट झाले पण पुढे वाढत्या कंपनसंख्येच्या प्रारणावर मर्यादा का येते हे त्यांना सांगता आले नाही.

ते कोडे 1900 साली मॅक्स प्लँक (Max Planck) याने सोडवले. त्याकरता त्याने असे गृहीत धरले की प्रकाश हा एका ठराविक ऊर्जेच्या पुडक्यातून प्रवास करतो. ν ह्या कंपनसंख्येच्या प्रकाशातील पुडकी.

$$E = h\nu$$

ह्या ऊर्जेच्या मापाची असतात. हे विधान केल्यावर प्लँकला ह्या प्रारणाची कारणमीमांसा करता आली. ह्या पुडक्यांना 'फोटॉन' म्हणतात.

म्हणजे प्रकाश हा फक्त लहरींच्या स्वरूपातच नसतो तर फोटॉन सारख्या कणांच्या स्वरूपातही असतो ! हा द्वैतवाद पुढे सर्वच मूलकणांना लागू पडतो असे प्रतिपादन पुंज वाद्यांनी केले. म्हणजे इलेक्ट्रॉन हा कणाच्या स्वरूपात असतो तसाच लहरींच्या पण ! अजूनही ह्या द्वैतवादावर चर्चा चालू आहे.

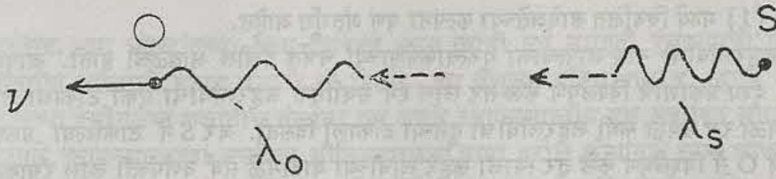
खगोलशास्त्रज्ञाच्या दृष्टीने हे काळे प्रारण महत्त्वाचे आहे. जर ह्या बंदिस्त जागेला भोके पाडून थोडा प्रकाश बाहेर येऊ दिला तर आतील समतोल बिघडत नाही. उलट बाहेर पडणाऱ्या प्रकाशाचे जर विश्लेषण केले तर तो चित्र क्रमांक 23 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आढळून येईल. आणि त्यावरून आपल्याला आतील (म्हणजे बंदिस्त जागेतील) तपमान कळू शकेल. ताऱ्यांच्या पृष्ठभागाचे तपमान अशाच मार्गाने ठरवण्यात येते.

डॉप्लर प्रभाव

लहरींच्या गतिबद्दलचा डॉप्लर (Doppler) नावाच्या एका शास्त्रज्ञाचा शोध विद्युच्चुंबकीय लहरींना पण लागू पडतो आणि त्याचा खगोलशास्त्रज्ञाला पुष्कळ उपयोग होतो. चित्र क्रमांक 24 च्या मदतीने ह्या शोधाचे वर्णन असे करता येईल.

अशी कल्पना करा की S हे लहरींचे उगमस्थान असून O हा निरीक्षक SO ह्या रेषेतून S पासून V ह्या वेगाने लांब जात आहे. जर S पासून निघणाऱ्या लहरींची कंपनसंख्या ν_s असेल तर O ला ह्याच लहरींची कंपनसंख्या किती आहे असे वाटेल ? डॉप्लरच्या नियमाप्रमाणे ही कंपनसंख्या

$$\nu_o = \sqrt{\frac{1-\frac{V}{c}}{1+\frac{V}{c}}}\;\nu_s \qquad (1)$$



चित्र क्रमांक 24 : O हा S पासून v ह्या वेगाने लांब जात आहे. S ने जर O च्या दिशेने λ_s लहरलांबीच्या लहरी सोडल्या तर O ला त्या लहरी λ_o लहरलांबीच्या असलेल्या दिसतील. λ_s हा λ_o पेक्षा जास्त असतो. (पहा सूत्र 1)

इतकी असेल. म्हणजे जर O चा वेग प्रकाशाच्या वेगाच्या 80 % असेल तर $\nu_o = \nu_s/3$. त्याचप्रकारे ह्या लहरींची लांबी O ला S ने मोजलेल्या लांबीच्या तिप्पट वाढेल. अशा वाढीला डॉप्लर प्रभाव जनित ताम्रसृती (Doppler Redshift) म्हणतात. ही बहुधा z ह्या अक्षराने दर्शवली जाते. म्हणजे मुळात (S ने पाहिलेली) लहर लांबी λ_s जर असेल तर O ने मोजलेली लहरलांबी

$$\lambda_o = \lambda_s\,(1 + z) \qquad (2)$$

इतकी असणार. म्हणजे वर दिलेल्या उदाहरणात z = 2.

जर V हा O चा वेग लहरींच्या वेगा (c) पेक्षा पुष्कळ कमी असेल तर डॉप्लरचे सूत्र अधिक सोपे होते :

$$\nu_o = \left(1 - \frac{V}{c}\right)\nu_s. \qquad (3)$$

('पुष्कळ लहान' ह्या शब्दांचा मतलब असा की V/c हा साधारण एक शतांश किंवा त्यापेक्षा कमी असेल !) अशा परिस्थितीत

$$z = \frac{V}{c} \qquad (4)$$

हे सोपे सूत्र पण मिळते. मात्र हे सूत्र जेव्हा z मोठा (म्हणजे एकाच्या आसपास किंवा जास्त) असेल तेव्हा लागू पडत नाही. तेव्हा आपल्याला सूत्र नंबर (1) वापरावे लागते.

सूत्र (1) मध्ये विवक्षित सापेक्षतेच्या कल्पना पण अंतर्भूत आहेत.

लहरलांबीची वाढ आपल्याला गुरुत्वाकर्षणाच्या चर्चेत देखील आढळली होती. आपण जर दृश्य प्रकाशाचे विश्लेषण केले तर लाल रंग सर्वाधिक लहरलांबीचा एका टोकाला तर जांभळा रंग सर्वात कमी लहरलांबीचा दुसऱ्या टोकाला दिसतो. जर S ने टाकलेल्या प्रकाशाचे O ने विश्लेषण केले तर त्याला लहर लांबीच्या वाढीमुळे सर्व वर्णपंक्ती लाल रंगाकडे सरकलेली दिसेल. गुरुत्वाकर्षण जनित लहरलांबीच्या वाढीत देखिल हाच प्रकार आढळून येतो. मूळ कारण काही का असेना कुठेही लहरलांबीची सर्वत्र वाढ झाली तर दृश्य प्रकाशाची वर्णपंक्ती लाल रंगाकडे सरकलेली दिसेल. म्हणून z ला ताम्रसृती (लाल रंगाकडे सरकणे) असे नाव दिले जाते.

डॉप्लर प्रभावात जर O हा S च्या दिशेने येत असेल, किंवा प्रकाश जर मंद पासून प्रखर गुरुत्वाकर्षणाकडे जात असेल, तर वर चर्चिलेल्या परिणामाच्या उलटा परिणाम दिसेल. सर्व लहरलांबीत घट झालेली असेल. दृश्य प्रकाशाची वर्णपंक्ती अशा परिस्थितीत निळ्या, जांभळ्या रंगांच्या दिशेने सरकलेली असेल. ह्या प्रकाराला Blue-shift किंवा Violet-shift म्हणतात.

खगोलशास्त्रज्ञाला अर्थातच ह्या डॉप्लर प्रभावाचा उपयोग आकाशातील प्रकाशस्रोतांचा आपल्यापासून लांब जाण्याचा, किंवा आपल्या दिशेने येण्याचा वेग मोजण्यात करता येतो. आपल्या आकाशगंगेतील एखाद्या ताऱ्याची वर्णपंक्ती घेऊन त्यातील काही ठराविक चमकणाऱ्या किंवा शोषणरेषांची लहरलांबी मोजून त्याला हे ठरवता येते की लहरलांबीत वाढ किंवा घट झाली आहे का. पूर्वी सांगितल्याप्रमाणे ह्या रेषांच्या लहरलांब्या अणू रेणूंच्या गुणधर्माने ठरवल्या जातात. त्यामुळे अपेक्षित लहरलांबीपेक्षा मोजलेली लहर लांबी, कमी किंवा जास्त आणि किती प्रमाणात, ते सांगता येते. अशातऱ्हेने z मोजल्यावर सूत्रे (1)-(4) वापरून V ची मोजमाप करणे अवघड नाही.

डॉप्लर प्रभाव इतर लहरींवरही दिसून येतो. उदाहरणार्थ, आपल्या दिशेने येणाऱ्या ट्रेनच्या एंजिनाची शिटी जास्त कर्कश वाटते. उलट ते एंजिन लांब जात असताना तो कर्कशपणा कमी झालेला जाणवतो. हा डॉप्लरप्रभाव ध्वनिलहरींशी संबंधित आहे.

तीव्र क्रिया

1920-1930 च्या दशकात पुंजवादाने केलेल्या प्रगतिमुळे अणु कसा बनलेला असतो याची बरीच माहिती मिळाली. अणुच्या गर्भात प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन हे मूल कण असतात. त्यापैकी प्रोटॉनचा विद्युत्‌भार धनात्मक (+e) असतो तर न्यूट्रॉनचा विद्युत्‌भार शून्य असतो. ह्या गर्भाभोवती ऋणात्मक विद्युत्‌भार (−e) असलेले इलेक्ट्रॉन वेगवेगळ्या कक्षात फेऱ्या

मारतात. ह्या इलेक्ट्रॉनच्या कक्षा विविक्त असून त्यांची सर्व माहिती पुंजवादाची विद्युच्चुंबकीय शास्त्राशी सांगड घातली की मिळते. ह्या अणुच्या बहिर्भागावरच, म्हणजे इलेक्ट्रॉनच्या वेगवेगळ्या कक्षांतील संख्येवर त्या अणुचे रसायनशास्त्रीय गुण अवलंबून असतात. त्यामुळे रसायनशास्त्राला असलेला भौतिकशास्त्राचा पाया वरील शोधांमुळे स्पष्ट झाला.

परंतु भौतिकशास्त्रापुढे नवीन प्रश्न उभे राहिले. जर अणुगर्भात Z प्रोटॉन आणि A–Z न्यूट्रॉन असले तर त्या अणुचा एकूण भार – त्याला आणविकभार म्हणतात – A इतका मानला जातो. वास्तविक इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमान $m_e = 9.105 \times 10^{-28}$ ग्राम इतके कमी आहे आणि न्यूट्रॉन प्रोटॉनची वस्तुमाने क्रमश: सुमारे

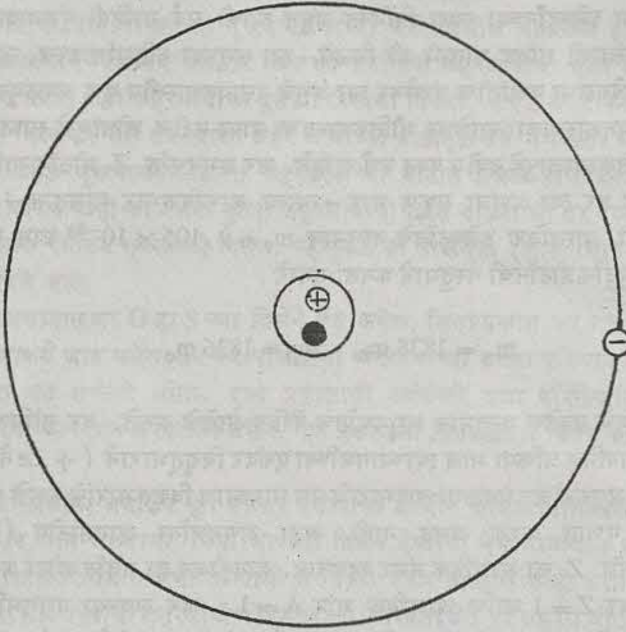
$$m_n = 1838\, m_e, \quad m_p = 1836\, m_e$$

असल्याने अणुचे बहुतेक वस्तुमान अणुगर्भातच केंद्रित झालेले असते. वर सांगितल्याप्रमाणे अणुच्या रासायनिक प्रक्रिया मात्र त्याच्यागर्भाच्या एकंदर विद्युत्भाराने (+ Ze ने) ठरतात. त्यामुळे दोन अणुगर्भ जर वेगळ्या अणुभाराचे पण सारख्याच विद्युत्भाराचे असले तर त्यांच्या रासायनिक गुणात फरक असत नाही. अशा अणुगर्भांना आयसोटोप (Isotope) म्हणतात आणि Z ला आणविक नंबर म्हणतात. हायड्रोजन हा सर्वात छोटा अणु. त्याचा आणविक नंबर Z = 1 आणि आणविक भार A = 1. जर त्याच्या अणुगर्भात आणखी एक न्यूट्रॉन कोंबला तर त्याचा आणविक भार A हा वाढून 2 होईल परंतु Z पहिल्याइतकाच राहील. ह्या हायड्रोजनच्या आयसोटोपला भारी-हयड्रोजन किंवा ड्यूटीरियम (Deuterium) म्हणतात. (पहा : चित्र क्रमांक 25).

असे अणुगर्भाचे चित्र तयार झाल्यावर भौतिकशास्त्रज्ञाला जो मोठा प्रश्न पडला तो असा. प्रोटॉन हे धनात्मक विद्युत्भाराचे कण असल्याने कूलंबच्या नियमाप्रमाणे ते एकमेकांना दूर सारतील. अशा प्रतिकर्षक प्रवृत्तीला आळा घालून अशा सर्व कणांना लहानशा (10^{-12} सेंटीमीटर व्यासाच्या) अणुगर्भात कोंडून ठेवणारी शक्ती कोणती ? ही गुरुत्वाकर्षणाची शक्ती असणे शक्य नाही कारण दोन प्रोटॉन मधले गुरुत्वाकर्षण त्यांच्यामधील विद्युत्प्रतिकर्षणापेक्षा 10^{-38} पटीने लहान असते. तेव्हा एका नवीन अणुगर्भीय आकर्षक बळाचे प्रतिपादन करणे आवश्यक आहे आणि हे बळ विद्युच्चुंबकीय बळावर मात करणारे असले पाहिजे. असे बळ निर्माण करू शकणाऱ्या क्रियेला तीव्र किंवा प्रखर हे नाव दिले आहे.

प्रखरक्रिया जशी प्रोटॉनवर प्रभाव दाखवते तशी न्यूट्रॉनवर सुद्धा—कारण न्यूट्रॉन देखील प्रोटॉनप्रमाणे अणुगर्भात कोंडलेले दिसतात. मात्र ही क्रिया अतिशय लहान पल्ल्याची असून अणुगर्भाबाहेर ती आपला प्रभाव दाखवत नाही. इलेक्ट्रॉन देखील तिच्यापासून मुक्त आहेत.

ह्या क्रियेचे मूळ काय ? ते शोधण्याकरता अणुगर्भात शिरून अधिक माहिती मिळवण्या-



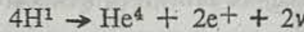
चित्र क्रमांक 25 : ड्यूटीरियमच्या अणूत बाहेर एक इलेक्ट्रॉन (ऋणात्मक विद्युत-भाराचा) असतो तर अणुगर्भात एक प्रोटॉन (धनात्मक विद्युतभार असलेला) आणि एक न्युट्रॉन (विद्युत भार नसलेला) असे मूलकण असतात.

करता भौतिक शास्त्रज्ञाने प्रचंड यंत्रणा उभारल्या आहेत. अतिशय वेगाने मूलकणांचा आणि अणुगर्भांचा संघर्ष घडवून आणून काय माहिती मिळते ते पाहण्याचे काम गेली 30-40 वर्षे चालू आहे. परंतु अद्याप प्रखर क्रियेचे मूळ सापडले नाही. मात्र मूलकणांचे वेगवेगळे प्रकार अणुशास्त्रज्ञांना सापडले आहेत. ही संख्या पूर्वी वाटत होते त्याप्रमाणे न्यट्रॉन-प्रोटॉन आणि इलेक्ट्रॉनपर्यंतच मर्यादित नसून शेकडोंनी मोजण्याइतकी झाली आहे. ह्या मोठ्या संख्येच्या मूलकणांच्या गुणधर्मात बरीच सुसंबद्धता सापडत असून तिच्यामागे सृष्टीचा एखादा नवीन नियम दडला असावा असे वाटते.

खगोलशास्त्रज्ञाला ह्या विषयात रस घेण्याचे कारण त्याला अनेकदा विचारला जाणारा प्रश्न : 'विश्वात हे वेगवेगळे अणू कसे निर्माण झाले ?' आपण घर बांधायला छोट्या विटा वापरतो त्याप्रमाणे मोठाले अणुगर्भ लहान अणुगर्भांपासून तयार होऊ शकतात का ? जर ते

शक्य असेल तर कुठे आणि केव्हा ? ह्या प्रश्नांची उत्तरे आपण पुढे देण्याचा प्रयत्न करू. मात्र त्यासाठी लागणाऱ्या एका गोष्टीचा आपण येथे विचार करू.

हायड्रोजनच्या अणुगर्भात A = 1, Z = 1 हे आपण आधीच पाहिले. त्यानंतरचा लहान अणुगर्भ हीलियमचा ज्याच्यात A = 4, Z = 2. म्हणजे ह्या अणुगर्भात दोन प्रोटॉन आणि दोन न्यूट्रॉन समाविष्ट आहेत. आपण जशी जशी A आणि Z ची संख्या वाढवत जातो तसे तसे आपल्याला मोठाले अणुगर्भ मिळत जातात. आता आपण चार हायड्रोजनचे अणुगर्भ एकत्र आणून त्यातून हीलियमचा अणुगर्भ तयार केला तर आपल्याला असे आढळून येईल की तयार झालेल्या हीलियमच्या अणुगर्भाचे वस्तुमान मूळच्या हायड्रोजनच्या चार अणुगर्भांच्या एकूण वस्तुमानापेक्षा थोडे कमी आहे. ही प्रक्रिया खालील स्वरूपात लिहिता येईल.



$$4H^1 \rightarrow He^4 + 2e^+ + 2\nu$$

इथे नेहमीच्या प्रघाता प्रमाणे H हे हायड्रोजनचे चिन्ह असून त्याच्या डोक्यावरचा 1 हा हायड्रोजनच्या अणुगर्भाचा अणुभार दर्शवतो. त्याचप्रमाणे He^4 हे हीलियम अणुगर्भाचे चिन्ह आहे. e^+ म्हणजे 'पॉझिट्रॉन'. हा ॲण्टीमॅटरचा बनलेला धनात्मक विद्युतभार (+e) असलेला इलेक्ट्रॉनच्या सारखाच मूलकण. ν हा 'न्यूट्रिनो' नावाचा मूल कण.

तर वरील अणुगर्भीय प्रक्रियेत He^4, ν आणि e^+ यांची वस्तुमाने मिळून $4H^1$ च्या वस्तुमानाइतके होत नाही. ही वस्तुमानातली कमतरता आइन्स्टाइनच्या $E = Mc^2$ ह्या सूत्रा बरहुकूम ऊर्जेने भरून काढली जाते. याचा अर्थ असा की जर आपण चार हायड्रोजनचे अणुगर्भ एकत्र आणून त्यातून हीलियमचा अणुगर्भ पैदा केला तर आपल्याला त्यातून ऊर्जा मिळेल. ही ऊर्जा 26.71 MeV इतकी असेल.*

ही प्रक्रिया ताऱ्यांच्या अंतरंगात घडू शकते. ती पृथ्वीवर घडवून आणून ऊर्जेची समस्या सोडवण्याचा मानवाचा प्रयत्न चालू आहे.

मंद क्रिया

अणुशास्त्राच्या अभ्यासात भौतिक शास्त्रज्ञांना आणखी एका मूलभूत क्रियेचा साक्षात्कार झाला. याचे उदाहरण म्हणजे न्यूट्रॉनचा क्षय ! जर न्यूट्रॉनला अणुगर्भातून बाहेर काढून मोकळा सोडला तर तो साधारण 10 मिनिटेच आपले अस्तित्व टिकवू शकतो. त्याचे खालील

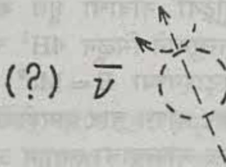
*MeV=Million Electron-Volt हे ऊर्जेचेच एकक आहे. याची 'अर्ग' ह्या एककाशी तुलना केली तर $1\ MeV = 1.6 \times 10^{-6}$ अर्ग.

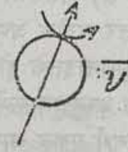
प्रक्रिये प्रमाणे परिवर्तन होते :

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$$

यात न्यूट्रॉन, प्रोटीन आणि इलेक्ट्रॉन हे क्रमश: n, p आणि e ने दर्शवले आहेत. $\bar{\nu}$ हा अँण्टी-मॅटरचा बनलेला (न्यूट्रिनो सारखाच पण त्याचा प्रतिस्पर्धी !) अँण्टी न्यूट्रिनो.

न्यूट्रिनो आणि अँण्टीन्यूट्रिनो हे फोटॉनप्रमाणे प्रकाशाच्या वेगाने जाणारे मूलकण आहेत. आजवरच्या प्रयोगांवरून ते फक्त मंदक्रियेतच भाग घेतात असे आढळून आले आहे. त्यामुळे त्यांचे अस्तित्व सिद्ध करणे अवघड असते. मंद क्रिया मुळातच नावाप्रमाणे कमी जोरात घडते. यांचा अर्थ असा की आणविक प्रयोगात प्रखर क्रिया आणि विद्युच्चुंबकीय क्रिया यांच्या तुलनेत मंद क्रिया तोकडी पडते. परंतु वर दिलेल्या उदाहरणाप्रमाणे ती काही बाबतीत आपले अस्तित्व दाखवू शकते.



चित्र क्रमांक 26 : अँण्टी न्यूट्रिनोचे आरशातले प्रतिबिंब ! तसा अँण्टीन्यूट्रिनो प्रत्यक्षात नसतो – म्हणजे आरशातले विश्व प्रत्यक्ष विश्वाशी भिन्न आहे – असे सिद्ध झाले आहे.

हायड्रोजन पासून हीलियम बनवण्याच्या प्रक्रियेत सुद्धा ही क्रिया महत्त्वाचे काम बजावते. कारण हायड्रोजनच्या चार अणुगर्भातील चार पैकी दोन प्रोटॉनचे दोन न्यूट्रॉन बनवण्यासाठी ही क्रिया उपयोगी पडते :

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu$$

खगोलशास्त्रज्ञांना ह्या क्रियेचा साक्षात्कार अनेक प्रकारे झालेला आहे.

शास्त्रज्ञांचा असा तर्क आहे की मंद क्रियेचा विद्युच्चुंबकीय क्रियेशी संबंध आहे. वाइनबर्ग (Weinberg) आणि सलाम (Salam) यांच्या अलिकडल्या संशोधनामुळे ह्या तर्काला पुष्टी मिळत आहे असे अनेकांना वाटते.

मंदक्रियेचा एक चमत्कारिक गुण म्हणजे ती उजव्या-डाव्यातला फरक करते. वास्तविक उजवी बाजू - डावी बाजू ही मानवनिर्मित कल्पना आहे, सृष्टीचे नियम तसा भेदभाव करत नाहीत असा शास्त्रज्ञांचा समज होता. याचा अर्थ असा की एखादी सृष्टीतील घटना, आपण तिचे आरशात प्रतिबिंब पाहिले तर जशी दिसेल तशी प्रत्यक्षात पण घडू शकेल. याच्या उलट आपण नुकतीच चर्चिलेली प्रक्रिया - जिच्यात न्यूट्रॉनचा क्षय होतो – ती अशी आहे की तिचे आरशातले प्रतिबिंब प्रत्यक्षात घडणे शक्य नाही ! कारण, त्यातून निघणारा ॲण्टी न्यूट्रिनो नेहमी स्वतःच्या गतीच्या दिशेने पाहिल्यास घड्याळाच्या काट्याच्या उलट दिशेने भिरभिरतो. चित्र क्रमांक – 26 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे अशा ॲण्टी न्यूट्रिनोचे प्रतिबिंब आपल्या गतीच्या दिशेने पाहिल्यास घड्याळाच्या काट्याप्रमाणे फिरताना (भिरभिरताना) आढळेल. परंतु मंद-क्रियेच्या सिद्धांताप्रमाणे असे ॲण्टी न्यूट्रिनो मुळी अस्तित्वातच नाहीत. त्यामुळे प्रतिबिंबातील प्रक्रिया प्रत्यक्ष विश्वात दिसून येणार नाही. 'देव डावरा आहे' असे मजेशीर उद्‌गार ह्या संदर्भात एका प्रख्यात शास्त्रज्ञाने काढले.

समारोप

खगोलशास्त्रज्ञाला आकाशस्थ घटनांची कारणमीमांसा करताना ज्या भौतिकशास्त्रीय सिद्धांतांची आवश्यकता भासते त्यांची आपण थोडक्यात माहिती करून घेतली. ह्या सिद्धांतांद्वारे केवळ भौतिकशास्त्रापासून खगोलशास्त्राला मदत मिळते इतकेच नव्हे तर खगोलशास्त्राकडून भौतिकशास्त्राला देखील फायदा होतो. कारण हे सर्व सिद्धांत पृथ्वीवरील प्रयोगशाळात तपासून प्रचारात आलेले आहेत. तिथल्यापेक्षा अधिक व्यापक परिस्थितीत ते लागू पडतात की नाही हे आपल्याला खगोल शास्त्राकडून कळते. ह्या विधानाची प्रचीती वेळोवेळी ह्या पुस्तकात पहायला मिळेल.

आता आपण तात्त्विक चर्चेपासून निरीक्षणाकडे वळू या. आजच्या खगोल शास्त्रज्ञाला आकाशाचे निरीक्षण करायला कोणकोणती साधने उपलब्ध आहेत ? पुढच्या प्रकरणात आपण ह्यासंबंधी थोडक्यात चर्चा करू.

३. वेधांची उपकरणे

वेधांचे प्रकार

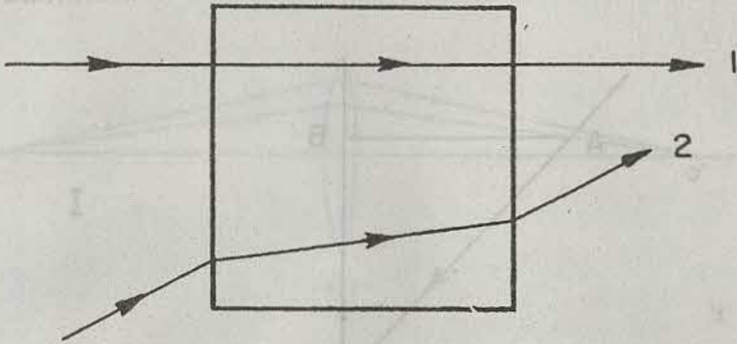
आधुनिक खगोलशास्त्रात वेधांचे अनेक वेगवेगळे प्रकार आहेत. एक अपवाद सोडल्यास हे सर्व प्रकार विद्युच्चुंबकीय लहरींचा उपयोग करतात. आपण गेल्या प्रकरणात ह्या लहरींच्या वेगवेगळ्या स्वरूपांची ओळख करून घेतली होती. लहरलांबीप्रमाणे लहरींचे गुणधर्म बदलतात. त्याप्रमाणे आपल्याला त्या लहरी ग्रहण करण्यास उपयुक्त उपकरणांच्या रूपात आकारमानात वगैरे बदल करावे लागतात. अशा काही उपकरणांची त्या प्रकरणात थोडक्यात माहिती करून घेऊ.

आणि शेवटी अपवाद म्हणून वर उल्लेखिलेल्या वेधांच्या प्रकाराची थोडक्यात चर्चा करून मग पुढील प्रकरणात आकाशस्थ वस्तूंची माहिती घेण्यास सुरवात करू.

दृश्य प्रकाशाच्या दुर्बिणी

ऐतिहासिक दृष्टया पाहिले तर सर्व वेधांच्या उपकरणात ह्या दुर्बिणींचा प्रथम क्रमांक लागेल. यांचे मुळात दोन प्रकार आहेत. प्रकाशाचे वक्रीभवन (refraction) आणि परावर्तन (reflection) होऊ शकते ह्या दोन गुणांवर ह्या दुर्बिणींची रचना अवलंबून आहे.

वक्रीभवन : चित्रक्रमांक–27 मध्ये काचेच्या एका घनाकृती ठोकळयाच्या पृष्ठभागावर दोन प्रकाश किरणे 1 आणि 2 पडलेली दाखवली आहेत. किरण नंबर 1 हे लंबवत असून ते काचेत शिरल्यावर सरळ त्याच दिशेने पुढे जाते. परंतु किरणनंबर २ हे तिरके येत असल्याने काचेत शिरल्यावर त्याची दिशा बदलते. ही दिशा बदलण्यामागे विद्युच्चुंबकीय लहरी एका

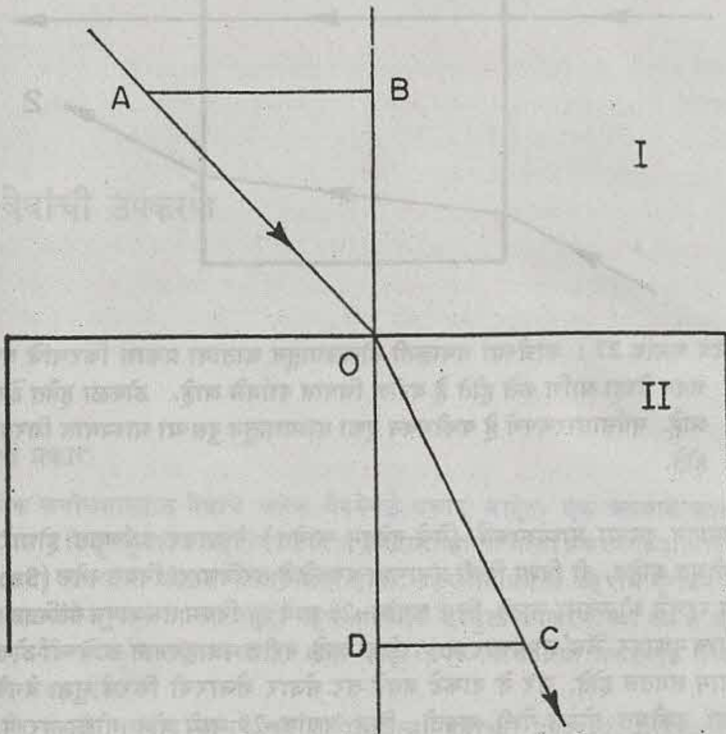


चित्र क्रमांक 27 : काचेच्या घनाकृती ठोकळ्यातून जाताना प्रकाश किरणांचे वक्री-भवन केव्हा आणि कसे होते हे वरील चित्रात दर्शवले आहे. ठोकळा हवेत ठेवला आहे. सर्वसाधारणपणे हे वक्रीभवन एका माध्यमातून दुसऱ्या माध्यमात शिरताना होते.

माध्यमातून दुसऱ्या माध्यमाकडे (येथे हवेतून काचेत) गेल्यावर त्यांच्यात होणारे फरक कारणीभूत आहेत. ही दिशा किती प्रमाणात बदलते हे ठरविणारा नियम स्नेल (Snell) चा नियम म्हणून ओळखला जातो. चित्र क्रमांक–28 मध्ये हा नियम समजावून सांगितला आहे.

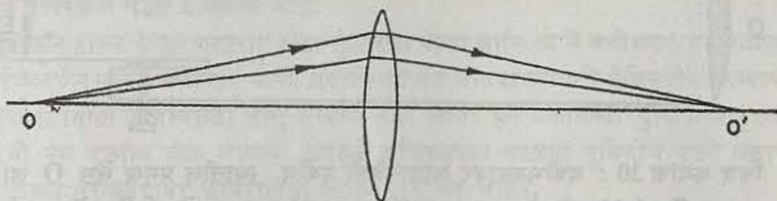
ह्याच गुणावर 'लेंस' हा प्रकार आधारलेला आहे. वरील उदाहरणात काचेच्या ठोकळ्याचे पृष्ठभाग समतल होते. जर ते वाकडे असते तर शेजार शेजारची किरणे सुद्धा वेगवेगळ्या दिशेला वक्रीभूत होऊन गेली असती. चित्र क्रमांक–29 मध्ये दोन गोलाकार पृष्ठभाग असलेल्या काचेच्या तुकड्यातून प्रकाशाचे वक्रीभवन झालेले दाखवले आहे. अशा तुकड्याला लेंस म्हणतात. चित्रात दाखवल्याप्रमाणे बिंदू O पासून निघालेल्या वेगवेगळ्या किरणांचे वेगवेगळ्या प्रमाणात वक्रीभवन होऊन ती सर्व किरणे O′ ह्या ठिकाणी केंद्रीत झाली आहेत. अशा परिस्थितीत O′ ह्या ठिकाणी O चे प्रतिबिंब तयार झाले असे म्हणतात.

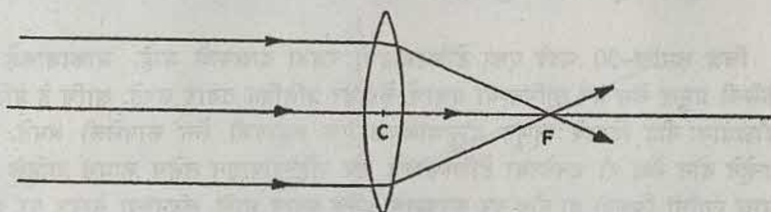
खगोलशास्त्रज्ञाला लांबवरच्या गोष्टींचे प्रतिबिंब दुर्बीणीच्या मदतीने ह्याच सिद्धांताने मिळते. वरील उदाहरणात जर O हा लेंस पासून पुष्कळ लांब गेला तर O′ देखील तसाच लांब जात नाही. उलट तो लेंस पासून एका ठराविक अंतरावर (चित्र-क्रमांक 29 च्या दुसऱ्या भागात दाखवल्याप्रमाणे) येऊन ठेपतो. ह्या अंतराला लेंसची केंद्रीय लांबी (focal length) म्हणतात. चित्रात दाखवल्या प्रमाणे लेंसच्या पृष्ठभागांच्या मध्यांना जोडणाऱ्या 'अक्षा'वर लेंस पासून केंद्रीय लांबीवर स्थिर बिंदूला (F ला) लेंसचे किरण केंद्र म्हणतात (focus).



$$n = AB / DC$$

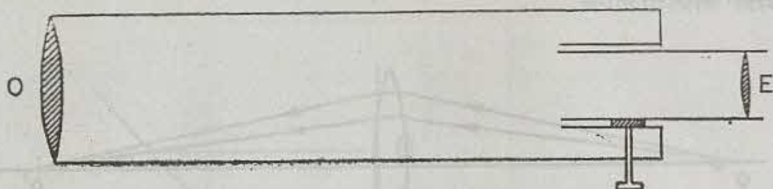
चित्र क्रमांक 28 : AO ह्या दिशेने माध्यम I मधून जाणारे प्रकाश किरण माध्यम II मध्ये शिरल्यावर OC ह्या दिशेने जाते. BOD हा I आणि II मधील पृष्ठभागावरील लंब आहे. जर O पासून समान अंतरावरील A आणि C ह्या बिंदूवरून BOD वर AB आणि CD हे लंब टाकले आहेत. स्नेलच्या नियमाप्रमाणे I मधून II कडे जाणाऱ्या कुठल्याही किरणासाठी $n = AB / CD$ हे गुणोत्तर स्थिर असते. n ला वक्रीभवन-गुणांक म्हणतात. हवा आणि काचेसाठी $n \cong 1.5$.





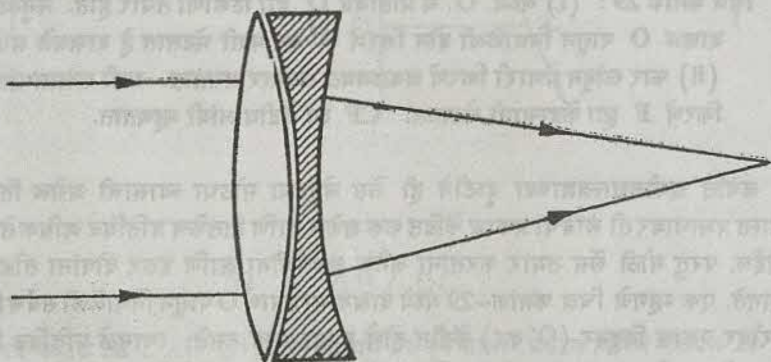
चित्र क्रमांक 29 : (i) मध्ये O चे प्रतिबिंब O′ ह्या ठिकाणी तयार होते. नमुन्यां-दाखल O पासून निघालेली दोन किरणे O′ वर कशी भेटतात हे दाखवले आहे. (ii) फार लांबून येणारी किरणे जवळजवळ समांतर असतात. अशी अक्षासमांतर किरणे F ह्या केंद्रस्थानी भेटतात. CF ला केंद्रीय लांबी म्हणतात.

अर्थात खगोलशास्त्रज्ञाच्या दृष्टीने ही लेंस जेवढया मोठया व्यासाची असेल तितक्या जास्त प्रमाणावर ती लांबचा प्रकाश केंद्रित करू शकेल आणि तितकेच प्रतिबिंब अधिक तेजस्वी होईल. परंतु मोठी लेंस तयार करताना अनेक अडचणींना आणि इतर दोषांना तोंड द्यावे लागते. एक म्हणजे चित्र क्रमांक–29 मध्ये दाखवल्या प्रमाणे O पासून निघालेली सर्वच किरणे बरोबर एकाच बिंदूवर (O′ वर) केंद्रीत होणे बहुधा शक्य नसते. त्यामुळे प्रतिबिंब तितके स्पष्ट येत नाही. अक्षापासून लांब असलेल्या वस्तूंचे प्रतिबिंब वाकडे येऊ शकते. शिवाय प्रकाशाचे वक्रीभवन किती व्हावे ते त्याच्या लहरलांबी वर अवलंबून असल्याने वेगवेगळ्या लहरलांबीच्या प्रकाशाचे – जरी तो O सारख्या एकाच ठिकाणाहून निघाला असला तरी – केंद्रीकरण एकाच ठिकाणी होत नाही. उदाहरणार्थ सूर्यप्रकाशात असलेल्या सात रंगांचे केंद्रीकरण लेंस पासून वेगवेगळ्या अंतरावर होईल अशा तऱ्हेने प्रतिबिंबात रंगांची विकृती (chromatic aberration) दिसून येईल.



चित्र क्रमांक 30 : वक्रीभवनावर आधारलेली दुर्बीण. त्यातील प्रमुख लेंस O ला पदार्थीय (objective) म्हणतात आणि यातून लांबच्या वस्तूचे प्रतिबिंब केंद्रस्थानी तयार होते. ते स्पष्ट पहायला नेत्रीय लेंस (eye–piece) वापरण्यात येते. ते स्क्रूच्या सहाय्याने मागेपुढे करता येते.

चित्र क्रमांक–30 मध्ये एका टेलिस्कोपची रचना दाखवली आहे. आकाशाकडे तोंड केलेली प्रमुख लेंस वर सांगितल्या प्रमाणे केंद्रावर प्रतिबिंब तयार करते. आणि हे प्रतिबिंब डोळयांना नीट दिसावे म्हणून डोळयाजवळ एक लहानशी लेंस लावलेली असते. अशा तऱ्हेने दोन लेंस नी बनलेल्या टेलिस्कोपचे रूप पहिल्यापासून तसेच कायम राहिले आहे. मात्र रंगांची विकृती हा दोष दूर करण्याचे अनेक प्रयत्न झाले. लंडनच्या चेस्टर मूर हॉलने हा दोष प्रथम 1733 मध्ये दूर करण्यात यश मिळवले. पुढे जॉन डोलंड याने त्याचे पेटंट घेतले—जरी त्याचे संशोधन करण्याचे श्रेय हॉललाच दिले जाते. चित्र क्रमांक–31 मध्ये

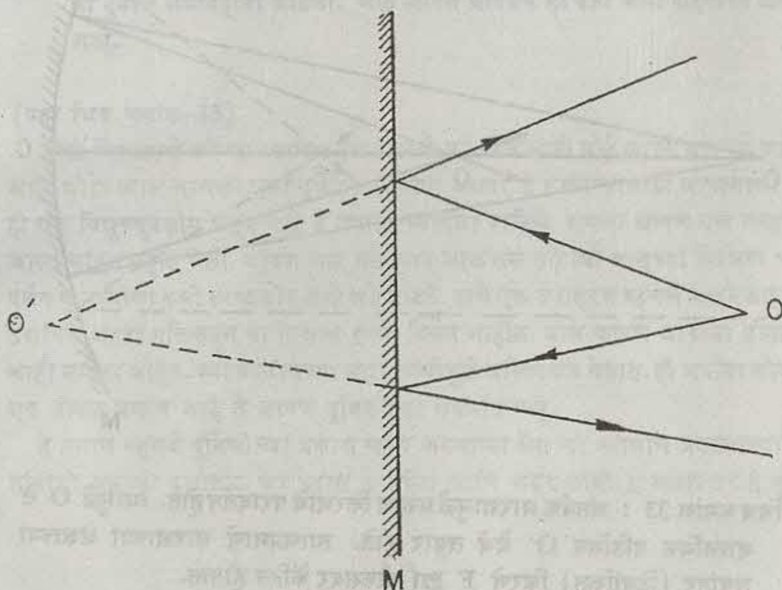


चित्र क्रमांक 31 : चेस्टरमूर हॉलने वापरलेल्या पद्धतीत वेगळया पदार्थांच्या दोन लेंस शेजारी शेजारी ठेवून एका लेंसमधून रंगांची विकृति दुसऱ्या लेंसद्वारे सुधारण्याची सोय असते. उदाहरणार्थ वरील चित्रात एक लेंस क्राउनग्लास आणि दुसरी फ्लिंट ग्लासची असू शकेल.

हॉलने वापरलेली पद्धत दाखवली आहे.

पुढे फ्रॉन हॉफर ने ह्या प्रकारात अनेक सुधारणा केल्या आणि त्याचे वक्रीभवनावर आधारलेले टेलिस्कोप पुष्कळ प्रचारात आले. तथापि जसेजसे मोठ्या व्यासाचे टेलिस्कोप करण्याची खगोलशास्त्रज्ञांना आवश्यकता भासू लागली तशी त्यांना ह्या प्रकारच्या दुर्बिणींच्या इतर दोषांची पण जाणीव होऊ लागली. त्यामुळे अलिकडच्या काळात दुर्बिणीचे दुसरे प्रकार, प्रकाशाच्या परावर्तनावर आधारलेले, अधिक प्रचलित आहेत.

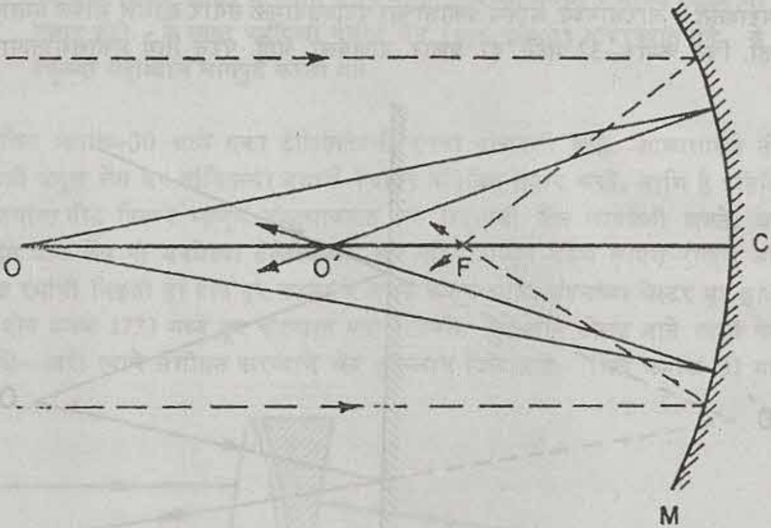
परावर्तन : आरशामध्ये आपण प्रकाशाच्या परावर्तनामुळे तयार झालेले आपले प्रतिबिंब पाहतो. चित्र क्रमांक–32 मध्ये हा प्रकार दाखवला आहे. परंतु तिथे प्रकाशस्रोतापासून



चित्र क्रमांक 32 : O पासून निघालेला प्रकाश समतल आरश्यावर (M वर) परावर्तित होतो आणि O′ पासून बाहेर पडतोय असे वाटते. O′ ला O चे काल्पनिक प्रतिबिंब म्हणतात.

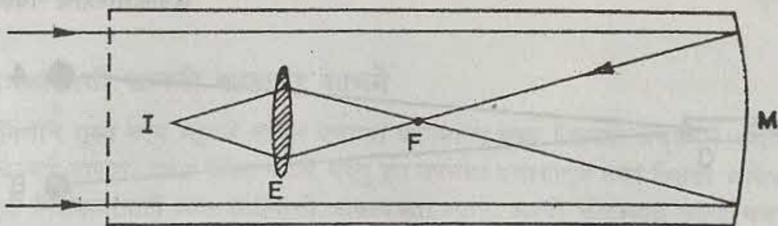
निघालेला प्रकाश दुसऱ्या ठिकाणी केंद्रित झाला असे घडत नाही. फक्त एका काल्पनिक केंद्रापासून तो प्रकाश येत आहे असा भास होतो. म्हणून नेहमीच्या समतल आरशातले प्रतिबिंब काल्पनिक (Virtual Image) समजले जाते.

उलट चित्र क्रमांक–33 मध्ये एका अंतर्वक्र आरशामुळे O पासून निघालेले प्रकाश किरण O′ वर केंद्रित झालेले दाखवले आहे. इथे O′ वर वास्तविक प्रतिबिंब तयार झाले असे म्हणायला हरकत नाहीं. लेंस प्रमाणे आरशाचा देखील केंद्र बिंदू (focus) असतो जिथे खूप लांबून येणारा प्रकाश परावर्तन होऊन केंद्रित होतो. भ्रामित अन्वस्तज (Paraboloid of Revolution) ह्या एका (गणिताने सिद्ध झालेला) विशिष्ट आकाराचा आरसा लांबून आलेली किरणे बिनचूक केंद्रित करू शकतो.



चित्र क्रमांक 33 : अंतर्वक्र आरशामुळे प्रकाश किरणांचे परावर्तन होते. त्यामुळे O चे वास्तविक प्रतिबिंब O′ येथे तयार होते. त्याचप्रमाणे आरशाच्या अक्षाच्या समांतर (टिंबांकित) किरणे F ह्या फोकसवर केंद्रित होतात.

न्यूटनने शोधून काढलेला परावर्तन दुर्बिणीचा प्रकार चित्र क्रमांक–34 मध्ये दाखवला आहे. त्याकाळी लहान आरसे असल्याने टेलिस्कोप वापरणारा माणूसच प्रतिबिंब बनवणाऱ्या प्रकाशाच्या आड येई आणि म्हणून हा प्रकार अव्यवहारी समजला गेला. आता मोठाले आरसे बनवणे शक्य असल्याने ती तक्रार दूर झाली. अमेरिकेत माऊंट पॅलोमार वरील 200 इंच व्यासाच्या आरशाची दुर्बिण इतकी मोठी आहे की तिच्यात माणूस सहज मावू शकतो !



चित्र क्रमांक 34 : न्यूटनच्या दुर्बिणीत लांबून आलेला प्रकाश M ह्या अंतर्वक्र आरश्याने F वर केंद्रित केला जातो आणि पुढे E ह्या लेंसद्वारे त्याचे I येथे प्रतिबिंब तयार होते. प्रथम I चे प्रतिबिंब पाहणाराच मूळ प्रकाशाच्या आड येत असल्याने ही दुर्बीण अव्यवहारी वाटली. मोठे आरसे वापरून हा दोष कमी करण्यात आला आहे.

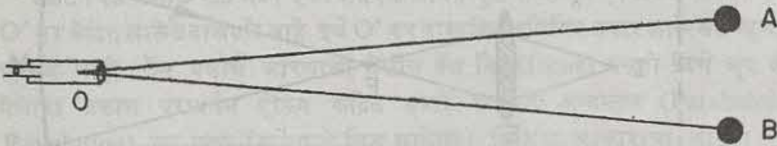
(पहा चित्र क्रमांक–35)

मोठी लेंस असणे जसे फायद्याचे तसेच तेजस्वी प्रतिबिंबासाठी मोठे आरसे वापरणे फायद्याचे आहे. मोठा व्यास आणखी एका दृष्टीने उपयोगी असतो. हे समजण्यासाठी आपल्याला प्रकाश ही एक विद्युच्चुंबकीय लहर आहे हे लक्षात घ्यायला पाहिजे. समजा आपण एक वस्तू जास्त जास्त लांबून पहात गेलो. आपण जसे जसे लांब जाऊ तस तसे त्या वस्तूच्या विभिन्न भागांचे दर्शन आपल्याला कमी स्पष्ट होत आहे असे वाटते. याचे एक उदाहरण म्हणजे अक्षरे आपल्याला ठराविक अंतरा पलिकडून पाहिल्यास स्पष्ट दिसत नाहीत. याचे कारण आपल्या डोळ्याच्या काही मर्यादा आहेत, ज्या प्रकाशाच्या लहर लांबीमुळे अस्तित्वात येतात. ही मर्यादा मोजण्याचे एक ढोबळ प्रमाण आहे ते आपण दुर्बिणींच्या संदर्भात पाहू.

हे प्रमाण म्हणजे दुर्बिणीच्या प्रकाश ग्रहण करणाऱ्या लेंसच्या व्यासाचे प्रकाशाच्या लहरलांबीशी असलेले गुणोत्तर. जर व्यास a असेल आणि लहर लांबी λ असेल तर हे गुणोत्तर

$$f = \frac{a}{\lambda}$$

इतके होईल. हे जितके जास्त तितकी ती दुर्बीण स्पष्ट प्रतिबिंब तयार करण्यात प्रभावी ठरेल. चित्र क्रमांक–36 मध्ये दोन तारे A आणि B दाखवले आहेत. त्यांनी O ह्या ठिकाणी असलेल्या दुर्बिणीत प्रक्षेपित केलेल्या किरणा मधला कोन $\angle AOB$ हा जर रेडियन (= $180/\pi$ डिग्री) मध्ये मोजला तर त्या दुर्बीणीत A आणि B ची प्रतिबिंबे स्पष्टपणे एकमेकापासून दूर पडायला हवी असल्यास हा कोन $1/f$ पेक्षा मोठा पाहिजे.



चित्र क्रमांक 36 : A आणि B हे दोन तारे O येथील दुर्बिणीस वेगळे वेगळे दिसायला त्यांची प्रतिबिंबे एकमेकापासून दूर पडली पाहिजेत. हे शक्य आहे की नाही ते a (= दुर्बिणीच्या प्रमुख लेंस किंवा आरशाचा व्यास) आणि λ (= प्रकाशाची लहरलांबी) यांच्या गुणोत्तराने ठरवले जाते.

जर तो लहान असेल तर पाहणाऱ्याला A आणि B हे वेगळे तारे आहेत असे वाटणार नाहीं. वर सांगितलेल्या पॅलोमारच्या दुर्बिणी साठी 5000 A° च्या प्रकाशा करता ह्या कोनाची मर्यादा सुमारे 10^{-7} (म्हणजे सेकंदाचा पन्नासावा भाग) इतकी भरते! (3600 सेंकंद = 1 डिग्री)

जगातील काही परावर्तन दुर्बिणी

(पहा चित्र क्रमांक 37, 38)

ठिकाण	आरशाचा व्यास
माउंट पॅलोमार, कॅलिफोर्निया	200 इंच
माउंट विल्सन, कॅलिफोर्निया	100 इंच
माउंट हॅमिल्टन, कॅलिफोर्निया	120 इंच
सायडिंग स्प्रिंग, ऑस्ट्रेलिया	150 इंच
किटपीक, अॅरिझोना	150 इंच
फोर्ट डेव्हिस, टेक्सस	107 इंच

भारतात 96 इंच व्यासाची परावर्तन दुर्बीण कावालूर येथे बांधण्यात येत आहे.

दुर्बिणींचे इतर प्रकार – तपशीलात फरक असला तरी–मूळच्या न्यूटनच्याच पद्धतीवर आधारीत आहेत. श्मिड्ट (Schmidt) याने 1930 मध्ये काही महत्त्वाच्या सुधारणा घडवून आणल्या ज्यामुळे अक्षावर नसलेल्या वस्तूचे प्रतिबिंब अविकृत येऊ लागले. ही पद्धत वापरणारे टेलिस्कोप 'श्मिड्ट टेलिस्कोप' म्हणून ओळखले जातात.

दृश्यप्रकाशाची छाननी करणारी साधने

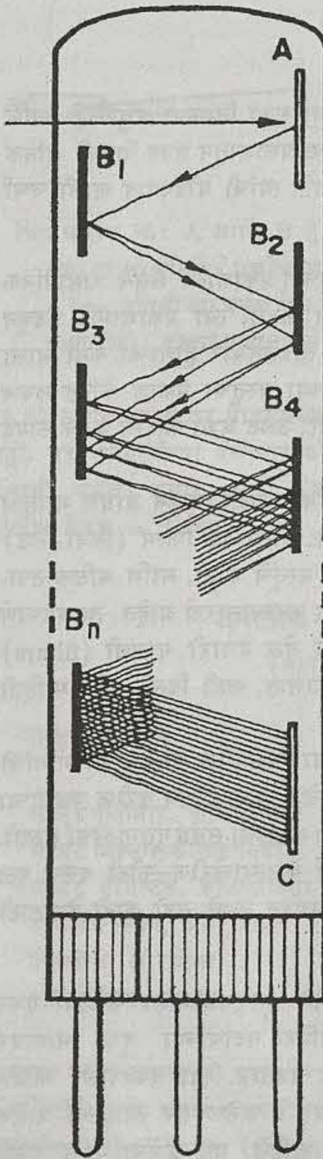
दुर्बिणींचे मुख्य काम म्हणजे लांबून येणाऱ्या प्रकाशाला शक्य तितक्या अचूकपणे आणि कार्यक्षमपणे आपल्या जवळ केंद्रित करणे. परंतु ह्या उपलब्ध प्रकाशातून शक्य तितकी अधिक माहिती मिळवण्यासाठी अन्य साधनांची आवश्यकता असते. त्यांची थोडक्यात खाली चर्चा केली जाईल.

फोटोग्राफीक प्लेट : आपण कॅमेऱ्याने फोटो घेतो तेे बाहेरच्या प्रकाशाला लेंसने रासायनिक इमल्शन लावलेल्या प्लेटवर (किंवा फिल्मवर) केंद्रित करून, त्या प्रकाशामुळे घडवून आणलेल्या रासायनिक क्रियांनी इमल्शनवर प्रकाशाच्या तीव्रतेनुसार होणाऱ्या कमी जास्त बदलांचे चित्रात रूपांतर करतो. आकाशातल्या दूरवरच्या वस्तूंचा प्रकाश केंद्रित करून त्यांचे फोटो घेणे हे खगोल शास्त्रज्ञाला काही अवघड नाही. उलट अशा फोटोंचे बरेच फायदे आहेत.

एक म्हणजे प्रत्यक्ष डोळ्याने पाहून जेवढी माहिती मिळू शकते त्याहून अधिक माहिती अशा फोटोंतून मिळते. एकाच वेळी अनेक ताऱ्यांचे फोटो, जास्त वेळ फिल्म (किंवा प्लेट) प्रकाशापुढे उघडी ठेवून मानवी डोळ्यांना न दिसणाऱ्या वस्तूंचे फोटो, आणि अधिक तपासणीसाठी त्यांची केव्हाही उपलब्धता हे काही फायदे नमूद करण्यासारखे आहेत. त्याचप्रमाणे ठराविक रंगाचे (म्हणजे लहरलांबीचेच) प्रकाशकिरण येऊ देणारी गाळणी (filters) वापरून एखादी वस्तू लाल प्रकाशात, किंवा निळ्या प्रकाशात, कशी दिसते वगैरे माहिती ह्या फोटोग्राफीच्या तंत्रातून मिळू शकते.

मात्र ह्या तंत्रात एक दोष आहे ! फोटोत उमटलेल्या चित्रातील वेगवेगळ्या भागांची तेजस्विता मूळ प्रकाशाशी सम प्रमाणात नसते. कारण प्लेट किंवा फिल्म वरील घडणाऱ्या रासायनिक प्रक्रियांच्या तीव्रतेचा मूळ प्रकाशातील तीव्रतेशी असलेला संबंध गुंतागुंतीचा असतो. हा संबंध स्पष्ट झाल्याखेरीज–म्हणजे प्लेटचे हे गुणधर्म कळल्याखेरीज–फोटो वरून मूळ वस्तूची नीट कल्पना येत नाही. त्यामुळे जरी हे गुणधर्म माहित असले तरी काही वेधांसाठी वेगळी तंत्रे वापरणे इष्ट ठरते.

फोटोमल्टिप्लायर (Photomultiplier) : आइन्स्टाइनने कारणमीमांसा केलेल्या एका प्रयोगावर हे उपकरण आधारलेले आहे. काही ठराविक पदार्थांच्या पृष्ठ भागावर जर प्रकाश झोत टाकला तर त्यातून इलेक्ट्रॉन बाहेर पडतात. ह्या प्रकाराला 'फोटो-इलेक्ट्रिक इफेक्ट' म्हणतात. जर प्रकाशाची कंपनसंख्या ν असेल तर त्यातल्या प्रत्येक कणाची, फोटॉनची, ऊर्जा $h\nu$ असते हे आपण आधीच पाहिले. ह्या ऊर्जेचा मारा करून पृष्ठभागावरच्या इलेक्ट्रॉनना बाहेर पडण्याइतकी शक्ति देण्याचे सामर्थ्य त्या प्रकाशात असते हे आइन्स्टाइनने दाखवून दिले. मात्र त्या इलेक्ट्रॉन वर पदार्थातील धनात्मक विद्युत-



भारांचे आकर्षण असल्याने त्यावर मात करण्याइतकी ऊर्जा पुरवण्याचे काम फोटॉनला करता आले पाहिजे त्यासाठी त्यामध्ये कमीत कमी (एक ठराविक) ν_0 ही कंपन संख्या पाहिजे.

फोटो मल्टिप्लायरमध्ये आत येणारा प्रकाश ह्या नियमाप्रमाणे एका पृष्ठभागावर (त्याला फोटो कॅथोड म्हणतात) पाडण्यात येतो आणि त्यांतून इलेक्ट्रॉन बाहेर पाडण्यात येतात (पहा चित्र क्रमांक–39). ते इलेक्ट्रॉन त्यांचा वेग वाढवून एका धातूच्या पृष्ठभागावर, डायनोडवर, पाडण्यात येतात. त्यामुळे जास्त इलेक्ट्रॉन डायनोडहून बाहेर पडतात. परत त्यांचा वेग वाढवून दुसऱ्या डायनोडवर टाकून त्याहून जास्त इलेक्ट्रॉन मिळवण्यात येतात. अशा तऱ्हेने अनेक डायनोड वापरून बरेच इलेक्ट्रॉन तयार झाले की त्यांचा विद्युतप्रवाह मोजण्यात येतो. हा विद्युतप्रवाह मूळ प्रकाशस्रोताची तीव्रता मोजण्यात मदत करतो. ही मोजमाप फोटोग्राफीक प्लेटप्रमाणे गुंतागुंतीची नसते.

मात्र हे उपकरण ν_0 वरच्या कंपन संख्येच्या प्रकाशात भेदभाव करत नाही. त्यामुळे जर प्रकाशाचे वेगवेगळ्या कंपनसंख्येत विश्लेषण केले तर फोटोग्राफिक प्लेट प्रमाणे हे वेगवेगळ्या

चित्र क्रमांक–39 : फोटो मल्टिप्लायर मध्ये प्रकाशाची वाढ कशी होते ते वरील चित्रात दर्शविले आहे. A हा फोटो कॅथोड असून $B_1, B_2, \ldots, B_n$ हे डायनोड आहेत. A वर पडलेला प्रकाश डायनोडनी वाढवून शेवटी C ह्या संग्राहकावर पडतो तो इलेक्ट्रॉनच्या स्रोताच्या स्वरूपात. चित्रात A पासून $B_1, B_2, \ldots$ ते C पर्यंत ह्या स्रोताची वाढ कशी होते ते दाखवले आहे.

रंगांची किमया दाखवू शकत नाही. शिवाय पुष्कळ वेळ प्रकाश ग्रहण करून अतिशय फिक्या वस्तूचे चित्र उमटून देण्याची पात्रता ह्या उपकरणात नाही. अगदी अलीकडे मात्र हे दोन्ही दोष दूर करण्यात यश मिळाले आहे. पहिला दोष दूर करण्यासाठी अतिशय छोटया आकाराचे फोटो मल्टिप्लायर बनवणे आवश्यक होते ते नुकतेच शक्य झाले आहे. दुसऱ्या दोषावर उपाय म्हणजे कंप्युटरच्या सहाय्याने फोटो मल्टिप्लायर मधून येणाऱ्या प्रवाहाची 'बेरीज' करून मूळ वस्तूची 'प्रतिकृती' तयार करणे. अशा अत्याधुनिक साधनांमुळे आता फोटोग्राफिक प्लेट मागे पडत जाणार यात शंका नाहीं !

कुठल्याही टेलिस्कोप मधून येणारा प्रकाश काही अंशीच एखाद्या प्रयोगासाठी (म्हणजे निरीक्षणासाठी) वापरला जातो. त्याचा बराचसा न वापरलेला भाग फुकट जातो. त्यामुळे हा एकंदर प्रकार अधिक कार्यक्षम करणे आवश्यक आहे. अलिकडे इमेज टयूब (image tube) चा वापर करून कार्यक्षमतेत सुधार घडवून आणणे चालू आहे. टेलिस्कोप मधून येणारा सर्व प्रकाश एका पृष्ठभागावर आणून फोटो इलेक्ट्रिक इफेक्टचे वर सांगितलेले तंत्रच इथे वापरण्यात येते. अद्याप इमेज टयूब मुळे सर्वच प्रकाश जरी वापरणे शक्य झाले नसले तरी पूर्वीपेक्षा अधिक भाग वापरला जातो. इलेक्ट्रॉनिक्सचा भविष्यकाळात खगोलशास्त्राला पुष्कळ फायदा होणार यात शंका नाही.

स्पेक्ट्रोग्राफ आणि डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग : स्पेक्ट्रोग्राफ हे उपकरण प्रकाशाचे विभिन्न लहरलांबींच्या लहरीत विश्लेषण करते. सूर्य प्रकाशाचे विश्लेषण वक्रीभवनाचा गुण वापरून ज्या प्रमाणे लोलकानें करता येते त्या प्रमाणेच कुठल्याही अंतरावरून आलेल्या प्रकाशलहरींचे विश्लेषण स्पेक्ट्रोग्राफ करू शकतो. वर्णपंक्ती मिळवण्यासाठी ह्या उपकरणाचा पुष्कळ उपयोग होतो.

डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंगची रचना सुद्धा प्रकाशाच्या 'लहर' ह्या गुणावर आधारलेली आहे. जेव्हा प्रकाश लहरी सरळ मार्गाने जात असताना एखाद्या अडथळयावर आदळतात तेव्हा तो अडथळा जर लहान असेल तर, त्या अडथळयाभोवती जाऊन पुढे पसरण्याची शक्यता असते. अर्थात अडथळयाचे लहान मोठे पण त्या लहरींच्या लांबीच्या तुलनेने ठरले जाते. त्यामुळे पुढे पसरणाऱ्या लहरीचे गुणधर्म (म्हणजे तीव्रता आणि दिशा) हे मूळ लहरींच्या लांबीवर अवलंबून असतात. अशाप्रकारे कृत्रिम अडथळे निर्माण करून वेगवेगळया लहरलांबीत मूळ प्रकाशाचे विश्लेषण करणारे एक उपकरण म्हणजे डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग. एका पारदर्शक पृष्ठभागावर ठराविक अंतरावर (हे अंतर प्रकाशाच्या लहर लांबीच्या आसपासचे असले पाहिजे) रेघा कोरून अशी ग्रेटींग (तत्वतः) बनवता येते. प्रत्यक्षात अचूक ग्रेटींग बनवणे अर्थातच मोठे कलाकुसरीचे काम आहे. 1882 मध्ये रोलंड (H. A. Rowland) याने ह्या उपकरणाची सुरवात करण्यास मोठा हातभार लावला.

ही सर्व चर्चा वाचून वाचकास असे वाटणे साहजिक आहे की खगोलशास्त्रात निरीक्षक-पदाची जागा आता माणसापासून यंत्राने घेतलेली दिसते. जरी माहिती गोळा करण्याचे कामी माणूस हा यंत्राच्या मानाने अकार्यक्षम ठरला असला तरी मिळालेल्या माहितीचे परीक्षण करण्यात अजून त्याला यंत्रांनी मागे टाकले नाही. वेळोवेळी दिसून आले आहे की पुष्कळ माहितीतून आवश्यक ती माहिती हेरून काढणे मानवाचे काम आहे आणि ते सुद्धा 'चौकस' मानवाचे. आपल्याला याची उदाहरणे पुढे आढळतील !

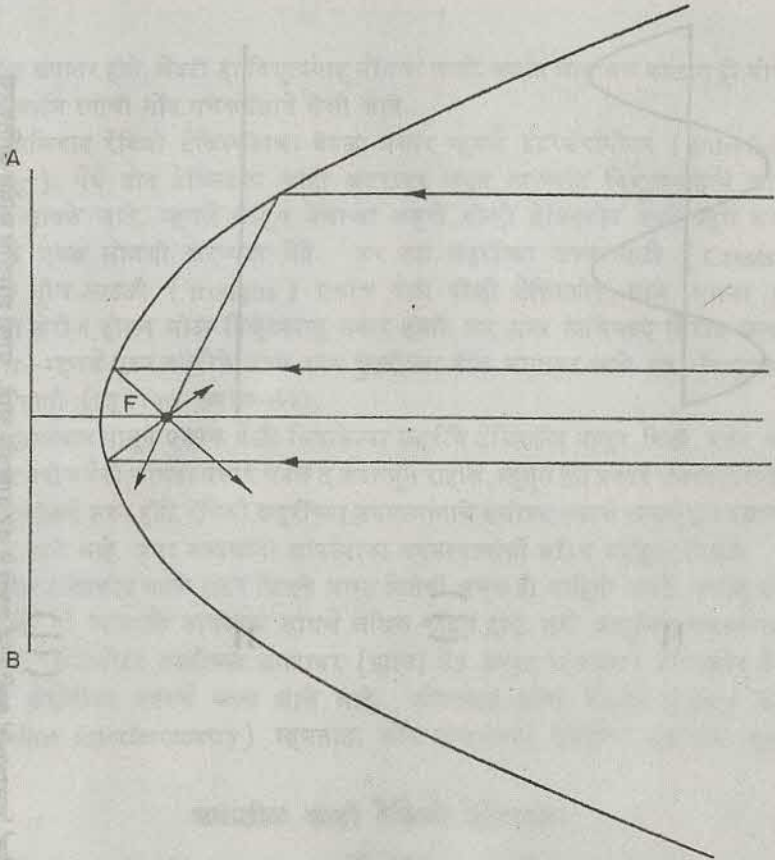
रेडिओ टेलिस्कोप

दृश्य प्रकाशाच्या तुलनेने अंतराळातून येणाऱ्या रेडिओ लहरींमधली उर्जा पुष्कळ कमी असते. परंतु हा कमीपणा भरून काढायला तंत्रज्ञानाने रेडिओ खगोलशास्त्रज्ञाला दोन साधने पुरवली आहेत ज्यामुळे रेडिओ लहरींची मोजमाप करणारे टेलिस्कोप बनवणे शक्य झाले आहे.

एक साधन म्हणजे ॲम्प्लिफायर (वर्धक), ज्यांचा उपयोग येणाऱ्या प्रारणातील ऊर्जा वाढवणे हा होय. ह्या वर्धकांचा उपयोग रेडिओ, टेलेव्हिजन सारख्या दैनंदिन जीवनात वापरल्या जाणाऱ्या साधनात होतोच. हे वर्धक, ज्या प्रारणातील ऊर्जा वाढवायची त्याच्या लहरलांबीपेक्षा लहान असणे आवश्यक असते. आधुनिक सॉलिड-स्टेट साधनांचा वापर करून साधारण एक सेंटीमीटरपेक्षा जास्त लहरलांबीच्या प्रारणाकरता वर्धक तयार करता येतात. त्यामुळे रेडिओ लहरींना त्यांचा निश्चितच फायदा मिळतो.

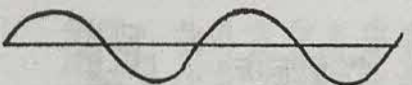
दुसरा महत्त्वाचा मुद्दा म्हणजे टेलिस्कोपचा आकार. आपण पूर्वीच पाहिले की स्पष्ट प्रतिबिंब पाहिजे असेल तर लहरलांबीच्या तुलनेने टेलिस्कोपच्या प्रारण ग्रहण करणाऱ्या पृष्ठभागाचा आकार मोठा पाहिजे. जगातील मोठ्या (दृश्य प्रकाशाच्या) दुर्बिणीचा व्यास प्रकाशाच्या लहरलांबी पेक्षा सुमारे कोटी पटीने मोठा असतो. जर आपण तेवढेच प्रमाण रेडिओ दुर्बिणींना लावले तर त्यांचा आकार प्रचंड असायला पाहिजे. सुमारे 20 सेंटीमीटर लहरलांबीला एक कोटीने गुणले तर उत्तर येते 2000 किलोमीटर ! इतके प्रचंड रेडिओ टेलिस्कोप बांधणे अर्थातच अशक्य आहे—पण शक्यतितके मोठे टेलिस्कोप बांधणे माहितीच्या दृष्टीने आवश्यक आहे हे तरी यावरून स्पष्ट होते. आणि त्यामुळे पुष्कळ ऊर्जाग्रहण शक्ती त्यांच्यात असते हे ही ओघाने दिसून येतेच. **चित्र क्रमांक** 40, 41, 42 मध्ये जगातले काही मोठे रेडिओ टेलिस्कोप दाखवले आहेत.

दृश्य प्रकाशाच्या दुर्बिणी प्रमाणेच आरशाने येणारा प्रकाश एकेठिकाणी केंद्रित करणे हेच रेडिओ टेलिस्कोपचे ध्येय असते. त्याकरता अन्वस्त (Parabola) हा आकार सर्वात योग्य ठरतो. (पहा चित्र क्रमांक–43) अर्थात 'प्रकाश' याचा अर्थ रेडिओ लहरी

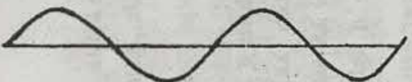


चित्र क्रमांक 43 : जर एक बिंदू अशातऱ्हेने फिरवला की त्याचे F पासूनचे अंतर हे त्याच्या AB ह्या सरळ रेषेपासूनच्या अंतराइतके असेल तर त्याने आखलेल्या वक्ररेषेला अन्वस्त (parabola) म्हणतात. अन्वस्तावर परावर्तित झालेली मुळात त्याच्या अक्षाच्या समांतर असलेली किरणे बरोबर F मधून जातात. F ला अन्वस्ताचा केंद्रबिंदू (focus) म्हणतात.

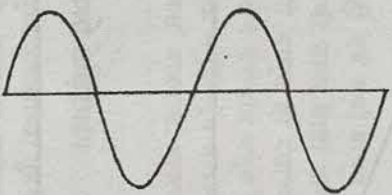
(म्हणजे विद्युच्चुंबकीय लहरी) असा इथे घ्यायचा. आणि 'आरसे' म्हणजे रेडिओ लहरी ग्रहण करू शकणारे ॲण्टेना! रेडियो लहरी केंद्रावर गोळा केल्या जातात आणि त्यांचे विद्युत्प्र-



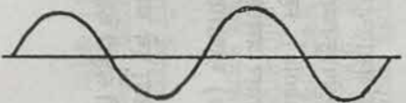
+



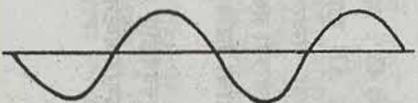
=



(i)



=



(ii)

चित्र क्रमांक 44 : दोन लहरींची 'बेरीज' 'वजाबाकी' कशी होऊ शकते ते वर दाखवले आहे. याला शास्त्रीय भाषेत व्यतिकरण (Interference) म्हणतात व त्याचा उपयोग रेडिओ-दुर्बिणीत करता येतो.

वाहात रूपांतर होते. शेवटी हा विद्युत्प्रवाह मोजला जातो. अर्थात आधुनिक काळात ही मोज-माप आणि त्याची नोंद गणकयंत्राने केली जाते.

ह्याशिवाय रेडिओ टेलिस्कोपचा वेगळा प्रकार म्हणजे इंटरफेरॉमीटर (Interferometer). येथे दोन टेलिस्कोप काही अंतरावर असून त्यांच्यात विद्युत्प्रवाहाचे सामंजस्य साधले जाते. म्हणजे लांबून येणाऱ्या लहरी दोन्ही टेलिस्कोप मध्ये ग्रहण करून त्यांची एकत्र मोजणी करण्यात येते. जर त्या लहरींच्या उच्चपातळी (Crests) किंवा नीच पातळी (troughs) एकाच वेळी दोन्ही टेलिस्कोप मध्ये आल्या तर त्यांची बेरीज होऊन मोठा विद्युत्प्रवाह तयार होतो. जर मात्र त्यांचेमध्ये विरोध उत्पन्न झाला–म्हणजे एका लहरीचे उच्च भाग दुसरीच्या नीच भागावर आले तर–विद्युत्प्रवाह शून्य होतो (पहा चित्र क्रमांक–44).

उगमस्थानापासून एकाच वेळी निघालेल्या लहरींचे टेलिस्कोप पासून किती अंतर आहे यावर वरील पैकी कोणता प्रकार घडेल ते अवलंबून राहील. म्हणून ह्या प्रकारे उगमस्थानातील अंतरे मोजणे शक्य होते. रेडिओ लहरींच्या उगमस्थानाचे समोच्च नकाशे काढणे ह्या प्रकाराने शक्य झाले आहे. अशा नकाशांनी आपल्याला उगमस्थानांची बरीच माहिती मिळते.

दोन टेलिस्कोप मधले अंतर जितके जास्त तितकी अचूक ही माहिती असते. अर्थात् अंतर वाढवले की त्यांमधले सामंजस्य साधणे अधिक कठिण होते. तरी आधुनिक तंत्रज्ञानामुळे हजारो किलोमीटर लांबीच्या अंतरावर (ह्याला बेस लाइन म्हणतात) टेलिस्कोप ठेवून इंटर फेरॉमीटर बनवणे शक्य झाले आहे. थोडक्यात याला VLBI (very long baseline interferometry) म्हणतात. कोन मोजायच्या सेकंदाचा हजारावा हिस्सा

जगातील काही रेडिओ टेलिस्कोप

ठिकाण	टेलिस्कोपचा प्रकार*
जॉड्रेल बँक, इंग्लंड	250 फुट व्यासाचा पृष्ठभाग
केंब्रिज विद्यापीठ, इंग्लंड	5 किलॉमीटर लांबीचा व्याप
पार्क्स्, ऑस्ट्रेलिया	210 फुट व्यासाचा पृष्ठभाग
मोलॉंग्लो, ऑस्ट्रेलिया	मैलाच्या लांबीचा क्रॉस
अरीसीबो, पोर्टो रिको	1000 फुट व्यासाचा जमीनीत खोदलेला पृष्ठभाग.
बॉन, जर्मनी	100 मीटर व्यासाचा पृष्ठभाग
उटकमंड, भारत	550 मीटर लांबीचा पृष्ठभाग

*हे टेलिस्कोप वेगवेगळ्या प्रकारचे असल्याने केवळ आकारमानाची तुलना करणे उचित ठरणार नाही.

इतक्या जवळच्या दिशा मोजणे ह्या प्रकाराने शक्य झाले आहे. त्यामुळे रेडिओ लहरींच्या उगमस्थानांची बारीक माहिती मिळायला सुरवात झाली आहे.

शेवटी हे नमूद करावेसे वाटते की मायक्रोवेव्हचे त्यातल्यात्यात लांब लहरींचे आणि इन्फ्रारेडचे एका ठराविक लांबीतल्या पल्ल्यातले वेध पृथ्वीतलावरून घेता येतात. त्यासाठी लागणारे तंत्रज्ञान बरेचसे रेडिओ तंत्रज्ञानावर आधारलेले आहे.

आता आपण पृथ्वीतल सोडून अंतराळात जाऊया !

अंतराळातून घेतलेले वेध

अंतराळ युगाला सुरवात झाली तेव्हा त्या तंत्रज्ञानाचा खगोलशास्त्राला देखील फायदा झाला. कारण विद्युच्चुंबकीय लहरींचे जे प्रकार पृथ्वीच्या वायुमंडलात शोषले गेल्यामुळे पृथ्वीतलापर्यंत पोचू शकत नाहीत, त्यांचा शोध घेण्यासाठी बलून, रॉकेट आणि कृत्रिम उपग्रहांचा उपयोग करणे शक्य झाले. ह्या काही प्रयत्नांचा थोडक्यात आढावा खाली घेतला आहे.

क्ष-किरणे : क्ष-किरणांची लहरलांबी दृश्यप्रकाशापेक्षाही पुष्कळ कमी असल्याने क्ष किरणांचे टेलिस्कोप लहान आकाराचे आणि वेगळ्या सिद्धांतांवर आधारलेले आहेत. अर्थात अंतराळात प्रक्षेपण करण्याच्या दृष्टीनेही ते अवाढव्य नाहीत हे ही मानवाच्या दृष्टीने सोयीचेच आहे.

साधारणपणे क्ष किरणे एखाद्या पदार्थातून सोडली तर ती त्या पदार्थातील अणूतल्या इलेक्ट्रॉनशी टक्कर घेतात. अशा परिस्थितीत ते इलेक्ट्रॉन क्ष-किरणापासून ऊर्जा घेतात आणि त्यामुळे एक तर ते त्या अणूतली अधिक ऊर्जेची कक्षा तरी गाठू शकतात किंवा त्या अणूतल्या गर्भाच्या आकर्षणापासून पूर्णपणे मुक्तही होऊ शकतात. पहिल्या स्थितीत त्या इलेक्ट्रॉनद्वारे परत खालच्या कक्षेत उडी मारून ऊर्जेचे प्रक्षेपण केले जाते. ही ऊर्जा बरेच वेळा दृश्य प्रकाशाच्या स्वरूपात असते आणि फोटो इलेक्ट्रिक इफेक्ट वापरून मोजता येते. अशा तऱ्हेने मुळातल्या क्ष किरणातली ऊर्जा कळू शकते. दुसऱ्या स्थितीत, मुक्त झालेल्या इलेक्ट्रॉनला विद्युत्क्षेत्राच्या सहाय्याने एका बाजूला ओढून घेता येते. अशातऱ्हेने किती इलेक्ट्रॉन मुक्त झाले ते मोजले की मूळ क्ष किरणांची शक्ती किती होती ते कळू शकते.

गामा किरणे : ही क्ष-किरणांपेक्षाही अधिक शक्तिशाली असतात. त्यांची मोजमापसुद्धा वर सांगितलेल्या पद्धतीत थोडे बदल केले की करता येते. येथे ही गोष्ट लक्षात घेण्याजोगी आहे की गामा किरणांचा, जर ती बरीच जास्त कंपन संख्येची असली तर अणुगर्भांवर देखील प्रभाव पडतो. त्याचप्रमाणे इलेक्ट्रॉन पॉझिट्रॉन जोड्या (e^-, e^+) तयार होण्यासुद्धा ती कारणीभूत होतात.

अशा सर्व गुणांचा विचार करून कोणत्या कंपन संख्येची गामा-किरणे अपेक्षित आहेत याचा अंदाज घेऊन गामा किरणांचे काउंटर बनवले जातात. इतर सर्व खगोलशास्त्रीय वेधांच्या तुलनेत गामा किरणांचे खगोलशास्त्र अजून प्राथमिक अवस्थेत आहे. यांच्या वेधांसाठी कृत्रिम उपग्रहच पाहिजेत.

मायक्रोवेव्ह, इन्फ्रारेड आणि अल्ट्राव्हायोलेट : विद्युच्चुंबकीय लहरींचे वेधाचे हे तीन प्रकार सुद्धा अंतराळ युगाचा प्रारंभ झाल्यापासून अधिक प्रचारात आले. गामा किरणांकरता जशी कृत्रिम उपग्रहांची आवश्यकता असते, तशी यांना नाही. बलूनचा वापर करून तेवढी उंची गाठली की बहुतेक प्रयोगांसाठी ती पुरेशी असते.* त्यापैकी मायक्रोवेव्ह आणि अल्ट्राव्हायोलेट साठी इलेक्ट्रॉनिक्सचा उपयोग होतो तर इन्फ्रारेडसाठी उष्णतेचा. (उष्णतेचे प्रारण इन्फ्रारेड मध्ये बसते.) अल्ट्राव्हायोलेटसाठी फोटोग्राफीचासुद्धा उपयोग होऊ शकतो.

ही सर्व तंत्रे वाढत्या तंत्रज्ञानाबरोबर बदलत आहेत. भविष्यकाळात ह्या तीनही विभागातून खगोलशास्त्रज्ञाना पुष्कळ नवी माहिती अपेक्षित आहे.

विश्व किरणे (Cosmic Rays)

आतापर्यंत चर्चिलेले सर्व प्रकार विद्युच्चुंबकीय लहरींद्वारा घेतल्या जाणाऱ्या वेधांसंबंधी होते. अर्थात्, लांबून येणारी माहिती शक्य तितक्या वेगाने यावी हे गृहीत धरले तर विवक्षित सापेक्षतेने घातलेल्या प्रकाशाच्या वेगाची मर्यादा ह्या लहरींनी गाठली असल्याने त्यांचे खगोलशास्त्राला महत्त्व असणे साहजिक आहे. परंतु ह्या व्यतिरिक्त इतर प्रकाराने पण अंतराळासंबंधी उपयोगी माहिती मिळू शकते हे विश्व किरणांनी दाखवून दिले.

1912 सालीच अंतराळातून मूलकणांचा आणि अणुगर्भांचा पृथ्वीवर मारा होतो याची जाणीव शास्त्रज्ञांना होऊ लागली. परंतु ह्या वर्षावाचा सांगोपांग अभ्यास करणे शक्य व्हायला आणखी चार दशके जावी लागली. ह्या वर्षावाला विश्व किरणे (किंवा Cosmic Rays) हे नाव देण्यात आले, आणि अंतराळात फुगे सोडून त्यांत उपकरणे ठेवून ह्या किरणांची अधिक माहिती मिळवण्याचे काम सुरू झाले. आतापर्यंतच्या प्रयोगांनी बरीच माहिती पुरवली आहे. तिची दखल आपण पुढे घेऊच.

कणामागे 10^8 इलेक्ट्रॉन व्होल्ट पासून 10^{20} इलेक्ट्रॉन व्होल्ट इतका लांबचा ऊर्जेचा पल्ला विश्व किरणात सापडतो. त्या तुलनेत मानवनिर्मित यंत्रात मूलकणामागे फारतर 10^{12} इले-

* येथे हे नमूद करणे आवश्यक आहे. बलून पृथ्वीतलापासून सुमारे 25–30 कि. मी. इतकी उंची गाठू शकतो तर कृत्रिम उपग्रह 150–35,000 कि. मी. च्या पल्ल्यात असतात. त्याउलट पृथ्वीचे वायुमंडळ जवळ जवळ 550 कि. मी. उंचीपर्यंत पसरले आहे.

क्ट्रॉन व्होल्ट इतक्या ऊर्जेचा पल्ला गाठला जातो, यावरून खगोलशास्त्रात घडू शकणाऱ्या घटनांच्या प्रचंडतेची थोडी जाणीव होईल. इतक्या मोठ्या पल्ल्यातील विश्वकिरणांचा शोध लावणारी उपकरणे अर्थातच त्या किरणातील कणांच्या गुणांवर आणि ऊर्जेवर अवलंबून असतात. ह्या उपकरणांचे काही प्रकार खाली वर्णन केल्याप्रमाणे आहेत.

1. चेरेन्कॉव्ह प्रारण : प्रकाशाचा पोकळीतला वेग हा सापेक्षवादाने ठरवलेल्या मर्यादेचा असला तरी एखाद्या माध्यमातून जाताना प्रकाशाचा वेग कमी असतो. अशा परिस्थितीत विश्व किरणातला एखादा अतिवेगवान कण अशा माध्यमातून प्रकाशापेक्षा अधिक वेगाने जाऊ शकतो. अशा कणात जर विद्युत्‌भार असला तर त्यातून जे प्रारण निघते त्याला चेरेन्कॉव्ह (Cerenkov) ह्या शास्त्रज्ञाचे नाव दिले गेले आहे. ह्या प्रारणाची मोजमाप करून मूळ विश्वकिरणांची माहिती मिळू शकते.

2. आयोनायझेशनमुळे होणारी उर्जेची हानी : विश्व किरणातले कण अणूतील इलेक्ट्रॉनला धडक देऊन त्याला अणुगर्भातील आकर्षणापासून मुक्त करतात (किंवा त्याला अधिक ऊर्जेच्या कक्षेत पाठवतात.) पहिल्या पर्यायाप्रमाणे इलेक्ट्रॉन आणि अणुगर्भ वेगळे झाल्याने ज्या माध्यमातून विश्व किरणे जातात ते 'आयोनाइझ' होते. आणि अर्थात्‌ याला लागणारी ऊर्जा विश्व किरणातील कणांकडून मिळाल्याने त्यांच्या ऊर्जेची हानी होते. ह्या परिणामाचा उपयोग करून विश्वकिरणशोधक उपकरण बनवले जाते.

3. हवेतला मोठा वर्षाव : कधी कधी बाहेरून येणारी विश्वकिरणे वायुमंडलातील कणांशी घर्षण करून नवीन मूलकण तयार करतात. ह्या नवीन मूलकणांपासून आपल्याला प्राथमिक अवस्थेतल्या मूलकणांची माहिती मिळते. हे नवीन मूलकण पावसाप्रमाणे पृथ्वीतलावर येतात आणि त्यांची माहिती मोठ्या क्षेत्रफळात (शेकडो चौरस मीटर) उपकरणे ठेवून मिळवली जाते.

4. न्यूक्लिअर इमल्शन : फोटोग्राफिक प्लेटवर रासायनिक प्रक्रिया घडवून आणून ज्याप्रमाणे चित्र उमटते त्याचप्रमाणे विश्वकिरणांकडून सिल्व्हर हॅलाइडवर प्रक्रिया घडवून आणून एखाद्या माध्यमातून विश्वकिरणांची मार्गरेषा उमटवण्यात येते. ह्या प्रकाराला न्यूक्लिअर इमल्शनची पद्धत म्हणतात. भारतात टाटा इन्स्टिट्यूट ऑफ फंडामेंटल रीसर्च मधील विश्व-किरणांवरील संशोधन ह्या प्रकारासाठी प्रसिद्ध आहे.

5. प्लास्टिकमधल्या मार्गरेषा : काही प्लास्टिक पदार्थातून विश्वकिरणे गेली की प्रारणामुळे तिथला भाग खराब होतो. रासायनिक प्रक्रियेने हा भाग स्पष्ट करून त्या पदार्थातून गेलेल्या विश्वकिरणांची मार्गरेषा दाखवण्यात येते. फिजिकल रीसर्च लॅबोरॅटरी येथील प्राध्यापक देवेंद्रलाल यांचा विभाग ह्या संशोधनात महत्त्वाची कामगिरी बजावीत आहे.

उपसंहार

प्रकाश काय, रेडिओलहरी काय किंवा विश्वकिरण काय ह्या सर्वांचा उपयोग करून खगोलशास्त्रज्ञाला अंतराळाबद्दल माहिती मिळवायची असते. त्याने उभारलेली वेधांची प्रचंड उपकरणे किंवा अंतराळात भिरकावलेली यंत्रे त्याला जी माहिती मिळवून देतात ती त्यांच्या अंतरंगात शिरणाऱ्या लांबून आलेल्या प्रारणाची, किरणांची, मूलकणांची, उगमस्थानें कशी आहेत ह्या प्रश्नाचे उत्तर देण्यास मदत करते. ह्या पुस्तकाच्या उरलेल्या भागात आपण आजवर मिळालेल्या माहितीची चर्चा करू.

४. सूर्यमालेच्या परिसरात

सूर्यमालेचे घटक

आपली पृथ्वी ज्या सूर्याभोवती फिरते त्या सूर्याच्या गुरुत्वाकर्षणाखाली पृथ्वीसारखे अनेक ग्रह फिरत आहेत. त्याचप्रमाणे अनेक ग्रहांभोवती त्यांचे उपग्रह फिरतात. याशिवाय धूमकेतू, ॲस्टेरॉइड, मीटिओराइटसारखे अनेक इतर सभासद सूर्याच्या आणि ग्रहांच्या 'क्लबा'त आहेत. प्रथम आपण ह्या सर्व सभासदांची माहिती करून घेऊ.

ग्रह : सूर्याभोवती नऊ ग्रह फिरतात असे आजवर आढळले आहे. ग्रह हे स्वयंप्रकाशित नसल्याने त्यांचा शोध लावणे – ते ताऱ्यांच्या तुलनेने जवळ असले तरी – तितके सोपे नाही. म्हणून अजून नवीन ग्रह सापडण्याची शक्यता नाकारता येत नाही.

खालील सारणीत ह्या ग्रहांबद्दल थोडक्यात माहिती दिली आहे. चित्र क्रमांक 4 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ग्रहाची कक्षा वक्रगोलाकार असते. वर्तुळ किती मोठे आहे याची माहिती ज्याप्रमाणे त्याच्या व्यासाकडून मिळते तसेच वक्रगोलाची माहिती त्याच्या दीर्घ अक्ष (= 2a) आणि वक्रत्व मोजणाऱ्या एका अपूर्णांकाने (= e) पुरवली जाते. सारणीत अंतर 'ॲस्ट्रोनॉमिकल यूनिट' (A. U.) ह्या एककात मांडले आहे. हे एकक म्हणजे पृथ्वीच्या वक्रगोलाच्या दीर्घ अक्षाचा निम्मा भाग (—म्हणजे पृथ्वी आणि सूर्यामधले सरासरी अंतर !) असून त्याची लांबी 1.495×10^{13} सेंटीमीटर इतकी आहे.

त्यानंतर सारणीत प्रत्येक ग्रहाला सूर्य प्रदक्षिणा करायला किती दिवस लागतात आणि त्या ग्रहाला स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरायला किती वेळ लागतो ते दाखविले आहे. शुक्र ग्रहावरचा 'दिवस' हा पृथ्वीच्या 243 दिवसाइतका तर त्याचे 'वर्ष' हे पृथ्वीच्या 225 दिवसाइतके—म्हणजे शुक्रावरच्या 'दिवसा'हून लहान ही गमतीची गोष्ट दिसून येते !

ग्रहांची माहिती*

ग्रह	दीर्घ अक्षर्ध a	वक्रत्वाचा अपूर्णांक e	'वर्ष' T	'दिवस'	वस्तुमान	अर्धव्यास
बुध	0.39	.205	88	59 दिवस	.054	.38
शुक्र	0.72	.007	225	243 दिवस	.815	.96
पृथ्वी	1.00	.017	365	1 दिवस	1.000	1.00
मंगळ	1.52	.093	687	24 तास $37\frac{1}{2}$ मिनिटे	.108	.53
गुरू	5.20	.048	4333	9 तास 50 मिनिटे	317.8	11.19
शनि	9.54	.056	10759	10 तास 14 मिनिटे	95.2	9.47
यूरेनस	19.18	.047	30685	10 तास 49 मिनिटे	14.5	3.73
नेपच्यून	30.07	.008	60188	15 तास	17.2	3.49
प्लूटो	39.44	.249	90700	6 दिवस $9\frac{1}{2}$ तास	0.8	0.47

* संख्यांमधले शेवटचे अंक 'राउंडअप' किंवा 'राउंडडाउन' केलेले आहेत. उदाहरणार्थ : $.387 \cong .39$, $1.523 \cong 1.52$.

नंतर सारणीत ग्रहाचे वस्तुमान आणि त्याचा विषुववृत्तावरील अर्धव्यास दाखवले आहेत. इथे सुद्धा पृथ्वीला एकक धरले आहे. पृथ्वीचे वस्तुमान

$$M_{\oplus} = 5.977 \times 10^{27} \text{ ग्राम}$$

हे आपण दुसऱ्या प्रकरणातच पाहिले. पृथ्वीचा विषुववृत्तावरील अर्धव्यास 6378 कि. मि. आहे.

ह्या एककांची मूल्ये डोळ्यासमोर ठेवून सारणी पहावी. (**पहा चित्र क्रमांक 45-50**).

हे ग्रह कसे तयार झाले ? त्यांच्यात काय पदार्थ आहेत ? वगैरे प्रश्नांची चर्चा पुढे केली जाईल. जाताजाता, ग्रहांच्या सूर्यापासूनच्या अंतरासंबंधी टायटस (Titus) याने प्रथम शोधून काढलेले आणि नंतर बोड (Bode) याने प्रचलित केलेले एक सूत्र पहावे.

$$d_n = 0.4 + 0.3 \times 2^n \text{ (A.U.)}$$

ह्या सूत्रात सूर्यापासून क्रमाक्रमाने लांब गेले तर n हा क्रम असलेला ग्रह A.U. ह्या एककात सूर्यापासून किती लांब आहे हे दाखवले आहे. इथे मोजायला शुक्रापासून सुरवात करायची, म्हणजे शुक्राचा क्रम $n = 0$, पृथ्वीचा क्रम $n = 1$ इत्यादी . . . बुधाचा क्रम $n = -\infty$ ठेवला तर तो देखिल ह्या सूत्रात बसतो. तसेच $n = 3$ हे गाळावे.

ह्या सूत्राने दिलेल्या अंतरांची तुलना सारणीतल्या अंतरांशी करावी म्हणजे ते कितपत लागू पडते हे दिसून येईल. नेपच्यून आणि प्लूटोच्या बाबतीत ते फारसे बरोबर ठरत नाही. $n = 3$ ह्या ठिकाणी ग्रह का नाही? मंगळ आणि गुरुच्या दरम्यान $n = 3$ प्रमाणे 2.8A.U. ह्या अंतरावर ग्रह नाही पण अनेक न्यूनग्रह किंवा अस्टेरॉइड (Asteroids) हे त्या ठिकाणी दिसतात. 1600 पेक्षा जास्त संख्येने हे न्यूनग्रह सूर्याभोवती ह्या अंतरावर एका पट्ट्यात विखुरलेले असून त्यातील सर्वात मोठा सेरेस (Ceres) हा वस्तुमानाने पृथ्वीच्या दहा-हजार पटीने लहान असून 350 किलोमीटर अर्धव्यासाचा आहे. बऱ्याच न्यूनग्रहांच्या कक्षेचे वक्रत्व जास्त असल्याने ते कधीकधी सूर्याच्या अधिक निकट येण्याची शक्यता असते. काही वर्षांपूर्वी इकरस (Icarus) हा न्यून ग्रह पृथ्वीच्या बराच जवळ आलेला होता.

उपग्रह : पुढे दिलेल्या सारणीत ग्रहांभोवती फिरणारे उपग्रह कोणते याबद्दल सध्या उपलब्ध असलेली माहिती दिली आहे. पृथ्वीभोवती चंद्र हा एकच नैसर्गिक उपग्रह आहे त्या उलट गुरू भोवती 14 उपग्रह आहेत ! अर्थात अंतराळ-युगाला सुरवात झाल्यापासून ग्रहांबद्दल माहिती मिळणे अशक्य नाही. तेव्हा खालील सारणी 'पूर्ण' समजू नये.

त्याशिवाय शनी, युरेनस (आणि नुकत्याच मिळालेल्या माहितीप्रमाणे गुरू) भोवती रिंगण असल्याचे आढळून आले आहे. त्यांची चर्चा पुढे सूर्यमालेच्या निर्मितीच्या संदर्भात केली जाईल.

ग्रहांचे उपग्रह

ग्रह	उपग्रह
बुध	—
शुक्र	—
पृथ्वी	1 : चंद्र
मंगळ	2 : फोबोस (Phobos) आणि डेमोस (Deimos)
गुरू	14 : आयो (Io), यूरोपा ((Europa), गनीमीड (Ganymede), कालिस्टो (Callisto) आणि इतर 10
शनि	10 : मीमास (Mimas), एन्सेलाडस (Enceladus), टीथिस (Tethys), डायॉन (Dione), ऱ्हिया (Rhea), टायटन (Titan), हायपरायन (Hyperion), आयपीटस (Iapetus), फीबी (Phoebe) आणि जानस (Janus)
यूरेनस	5 : एरियल (Ariel), अंब्रियल (Umbriel), टिटानिया (Titania), ओबेरॉन (Oberon), आणि मिरांडा (Miranda)
नेपच्यून	2 : ट्रिटन (Triton), आणि नेरीड (Nereid)

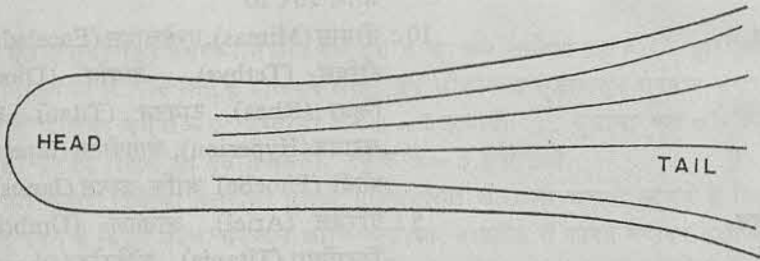
धूमकेतू : चित्र क्रमांक–4 मधील वक्रगोलाचे वक्रत्व जर आपण वाढवत गेलो तर सूर्यापासून कक्षेतला सर्वात जवळचा बिंदू (A) आणि सर्वात लांबचा बिंदू (A′) यांच्या सूर्यापासूनच्या अंतरातील तफावत वाढत जाईल. वक्रगोलाची भूमिती असे सांगते कीं ह्या अंतरांचे प्रमाण

$$\frac{SA}{SA'} = \frac{1-e}{1+e}$$

असे असते वर्तुळाकार कक्षेतील सर्व बिंदू केंद्रापासून समान दूर असतात कारण वर्तुळासाठी e=o. जर e वाढत वाढत e=1 ह्या सीमेकडे आला तर कुठली आकृती तयार होते ? त्या आकृतीला अन्वस्त (parabola) म्हणतात. सूर्यमालेत बहुतेक घटक (ग्रह आणि

उपग्रह) e=0 च्या आसपास असतात. फक्त काही न्यून ग्रहांमध्ये हा 0.5 पेक्षा जास्त सापडतो. त्या उलट धूमकेतू हे घटक फार लांबून सूर्याजवळ येतात आणि परत लांब जातात. त्यांच्यापैकी काहींच्या कक्षेची वक्रता e=1 च्या जवळ असते.

दर वर्षी अनेक धूमकेतू सूर्याजवळ येऊन जातात. त्यापैकी सर्वच प्रेक्षणीय असतात असे नव्हे. सामान्य माणसाच्या नजरेला दिसावेत असे धूमकेतू क्वचितच येतात. अशा पैंकी काही धूमकेतू वक्रगोलाकार कक्षेत फिरत असल्याने ते ठराविक वेळेनंतर सूर्याजवळ येतात. हॅले (Halley) चा धूमकेतू जवळ जवळ 76 वर्षांनी दिसतो. तो आता 1986 मध्ये परत दिसेल अशी अपेक्षा आहे. ह्या धूमकेतूचे आगमन 1758 साली होईल असे हॅले नावाच्या शास्त्रज्ञाने न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताद्वारे 1705 मधे भाकीत केले होते. ते भाकीत खरे ठरून ह्या सिद्धांताला अधिक पुष्टी मिळाली असा इतिहास आहे.



चित्र क्रमांक 51 : धूमकेतूच्या पुढच्या भागास HEAD किंवा COMA म्हणतात तर मागच्या भागास TAIL.

एखाद्या धूमकेतूची रचना चित्र क्रमांक–51 मध्ये दाखवली आहे. त्याच्या पुढच्या भागाला शिर (head) किंवा कोमा (coma) म्हणतात आणि मागच्या भागाला शेपूट (tail). कोमाचा व्याप धूमकेतूच्या सूर्यापासूनच्या अंतराप्रमाणे बदलत असतो. मात्र त्या बदलात नियमितपणा दिसत नाही. जर 1 A.U. अंतरावर कोमाचा व्यास 2 लाख किलोमिटर असेल तर 0.3 A.U. वर 20 हजार किलोमीटर इतकाच असेल. शेपटीची लांबी एक कोटी किलोमीटर इतकी असते - काही धूमकेतूत ह्याच्या 15 पटींपर्यंत सुद्धा दिसली आहे. ही शेपूट धूमकेतू सूर्यापासून साधारण 1.7 A.U. इतक्या अंतराजवळ आला की दिसू लागते. सूर्य प्रकाशातील दबावामुळे ह्या शेपटीची दिशा बदलते. येताना ती कोमाच्या मागे तर परत जाताना ती कोमाच्या पुढे असते. **चित्र क्रमांक 52** मध्ये एक धूमकेतू दाखवला आहे.

धूमकेतू जर गुरु ग्रहाजवळ आले तर गुरुच्या आकर्षणामुळे त्यांची दिशा, कक्षा आदी बदलू शकते. तसेच कधी सूर्याजवळ आले असताना त्यांची विभागणी होऊ शकते. जर ते पृथ्वीच्या वायुमंडला जवळून गेले तर त्यांतील काही कण घर्षणामुळे चमकून खाली पडतात. त्यांना आपण उल्कापात (Meteor Shower) म्हणतो. 'टेक्टाइट' नावाचे छोटे बटनाच्या आकाराचे काचेचे तुकडे हे अशा संघर्षातून निर्माण झाले असावेत.

मीटिओराइट (Meteorite) : हे काही इंच किंवा फुट व्यासाचे गोलाकार घनपदार्थाचे गोळे वेळोवेळी पृथ्वीतलावर येऊन आदळतात. हे बहुतेक मंगळ आणि गुरूच्या दरम्यान अस्टेरॉइडच्या पट्ट्यातूनच येत असावेत. कधी कधी मोठ्या मीटिओराइटच्या आदळण्यामुळे पृथ्वीत भोके (Creaters) तयार होतात. चंद्रावरचे क्रेटर असेच तयार झाले असावेत. मीटिओराइट मधील पदार्थांचा अभ्यास करून सूर्यमालेच्या निर्मितीबद्दल महत्त्वाचे तर्क करता येतात.

सूयमालेतील मोजमापे

ग्रहांच्या सारणीत अमुक ग्रह अमुक अंतरावर आणि अमुक वस्तुमानाचा आहे. यासंबंधी माहिती दिली आहे. ती माहिती खगोलशास्त्रज्ञाला कशी मिळते ? सूर्यमालेतील अंतरे आणि वस्तुमाने मोजण्यासाठी दोन नियम उपयोगी पडतात – एक भौतिकशास्त्रातील केप्लरचा आणि दुसरा त्रिकोणमीतीतला (Trigonometry) त्रिकोण सोडवण्याचा नियम. ह्या दोन्ही नियमांचे उपयोग करून आपण ह्या प्रश्नाचे उत्तर मिळवण्याची काही उदाहरणे पाहूया.

चंद्राचे पृथ्वीपासूनचे अंतर : समजा चंद्र पृथ्वी भोवती वर्तुळाकार कक्षेत फिरत असून त्या वर्तुळाचा व्यास 2R आहे. जर चंद्राचे वस्तुमान m आणि पृथ्वीचे वस्तुमान M असेल तर त्यांच्यामधले गुरुत्वाकर्षणाचे बळ

$$F = \frac{GmM}{R^2} \qquad (1)$$

इतके असेल. परंतु जर चंद्राला एक प्रदक्षिणा घालायला T इतका वेळ लागत असेल तर त्याचा वर्तुळात फिरण्याचा वेग

$$v = \frac{2\pi R}{T} \qquad (2)$$

इतका असणार. वर्तुळात इतक्या वेगाने फिरणाऱ्या वस्तूचे त्वरण v^2/R इतके केंद्राच्या दिशेने असेल. न्यूटनच्या गतिच्या सिद्धांताप्रमाणे F हे बळ चंद्रावर पृथ्वीच्या दिशेने प्रभाव टाकत असल्याने पृथ्वीच्या दिशेने F/m हे त्वरण चंद्रात निर्माण होते. त्यामुळे

$$\frac{F}{m} = \frac{v^2}{R} \qquad (3)$$

वरील समीकरणात F आणि v ची किंमत (1) आणि (2) प्रमाणे टाकली की आपल्याला उत्तर मिळते:

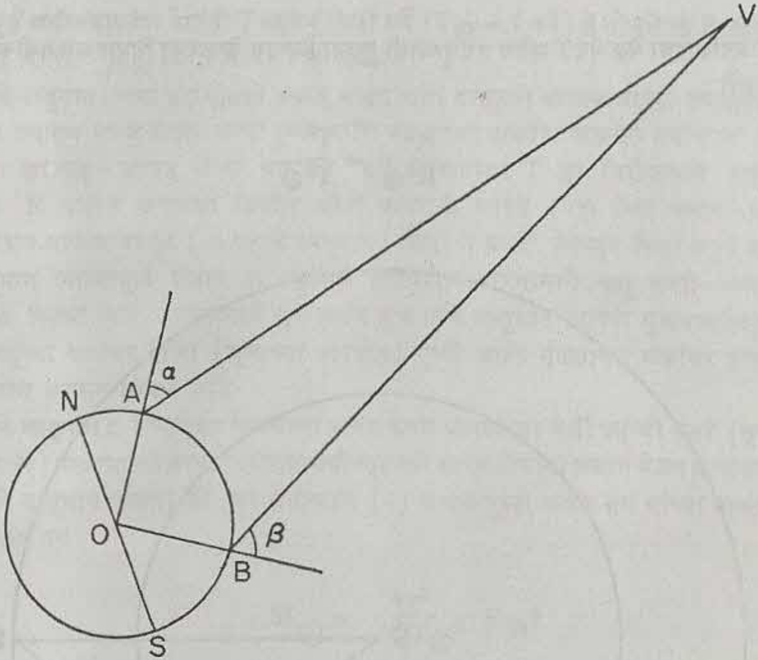
$$R^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2} \qquad (4)$$

हाच नेमका केप्लरने सूर्याभोवती ग्रहगतीबद्दल काढलेला सिद्धांत आहे. फक्त आपण तो पृथ्वी आणि चंद्र यांना लावत आहोत. G आणि M आपल्याला माहित आहेच (पहा: **प्रकरण 2**). T म्हणजे चंद्राला पृथ्वीप्रदक्षिणेसाठी लागणारा वेळ वेधांद्वारे माहीत आहे. मग (4) नंबरचे समीकरण आपल्याला पाहिजे असलेले उत्तर पुरवते.

सूर्यापासून पृथ्वीचे अंतर : हे मोजायला प्रथम पृथ्वीपासून जवळच्या एका ग्रहाचे (→ आणि ह्या करता शुक्र ग्रह वापरण्यात येतो →) अंतर मोजावे लागते. त्याकरिता त्रिकोणमीती वापरली जाते.

चित्र क्रमांक–53 मध्ये पृथ्वीवरील दोन ठिकाणाहून, A आणि B पासून शुक्र (V ने दर्शवलेला) कोणत्या दिशेला आहे ते निरीक्षणाने ठरवले जाते. उदाहरणार्थ जर चित्रात दाखवल्याप्रमाणे A आणि B एकाच रेखांशावर असले आणि शुक्र त्या रेखांश आणि पृथ्वीच्या अक्षाला जोडणाऱ्या समतलात असला तर AV आणि BV ह्या दिशा अनुक्रमे A आणि B च्या शिरोभागी जाणाऱ्या दिशेशी कोणते कोन करून आहेत ते निरीक्षणाद्वारे मोजण्यात येते. A आणि B पृथ्वीवरचे बिंदू असल्याने आता आपल्याला VAB हा त्रिकोण काढता येईल. यातील AB ह्या रेषेची लांबी आणि $\angle VAB$ व $\angle VBA$ हे कोन माहित झाल्याने आपल्याला V हा बिंदू कुठे आहे ते कळते आणि त्यावरून शुक्राचे पृथ्वीच्या केंद्रापासूनचे अंतर समजते. ही पद्धत चंद्राचे अंतर मोजायला पण वापरता येते.

ही झाली अनेक वर्षांपासून प्रचलित असलेली पद्धत ! अलिकडे रेडार सिग्नल पाठवून त्यांचे शुक्र (किंवा चंद्र इत्यादी) याच्या पृष्ठभागावरून परावर्तन करून परत येण्यास लागलेला वेळ T हा मोजण्यात येतो. रेडार सिग्नल प्रकाशाच्या वेगाने (= c) जात असल्याने



चित्र क्रमांक 53 : शुक्र V जर एकाच रेखांशावरील दोन ठिकाणाहून पाहिला तर वर दर्शविल्याप्रमाणे α आणि β हे कोन मोजता येतील. त्यावेळी पृथ्वीचा अक्ष NS आणि NABS हा रेखांश यांच्या समतलात V असला तर ह्या निरीक्षणांवरून V चे पृथ्वीच्या केंद्रापासून (O) अंतर गणिताने काढता येते.

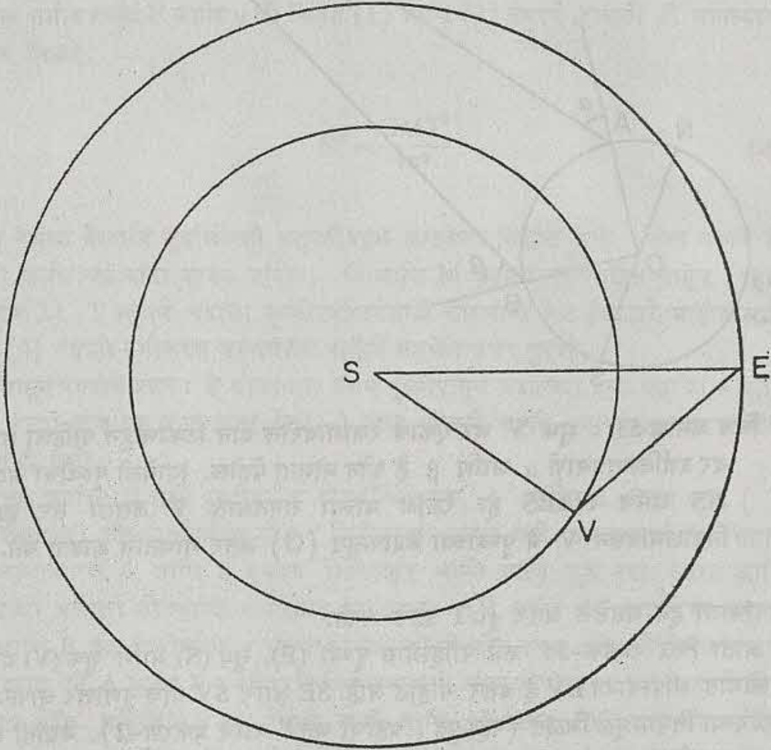
आपल्याला हवे असलेले अंतर $\frac{1}{2}cT$ इतके भरते.

आता चित्र क्रमांक–54 कडे पाहिल्यास पृथ्वी (E), सूर्य (S) आणि शुक्र (V) यांच्या त्रिकोणात आपल्याला EV हे अंतर माहीत आहे. SE आणि SV यांचे गुणोत्तर आपल्याला केप्लरच्या नियमामुळे मिळते (पहा पुढे : 'ग्रहांची अंतरे' आणि प्रकरण–2). वेधांनी आपल्याला ∠SEV हा कोन मिळतो. त्यावरून त्रिकोण मितीच्या मदतीने हा त्रिकोण SEV संपूर्ण सोडवता येतो आणि पृथ्वीचे सूर्यापासूनचे अंतर (= SE) कळते. शुक्राचे सूर्यापासूनचे अंतर पण मिळते.

ग्रहांची अंतरे : पृथ्वी - सूर्य हे अंतर मोजता आले की केप्लरच्या नियमानुसार इतर ग्रहांच्या भ्रमण कक्षा ठरवता येतात. उदाहरणार्थ मंगळाचे सूर्यापासूनचे अंतर R असेल आणि त्यांच्या

सूर्य प्रदक्षिणेचा वेळ जर T असेल तर पृथ्वीशी तुलना केल्यास केप्लरचा नियम असे समीकरण पुरवतो :

$$\frac{R^3}{R^3_\oplus} = \frac{T^2}{T^2_\oplus}$$



चित्र क्रमांक 54 : सूर्य (S), शुक्र (V) आणि पृथ्वी (E) यांचा त्रिकोण. यातील EV हे अंतर रेडारने मोजता येते आणि निरीक्षणांनी ∠SEV हा कोन समजतो. शिवाय केप्लरच्या नियमाद्वारे SE आणि SV यांचे गुणोत्तर माहीत असते. त्यावरून SE आणि SV किती हे समजते. (चित्रात दाखवलेल्या V आणि E च्या कक्षा गोलाकार नसून किंचित् वक्रगोलाकार असतात हे ध्यानात असावे !)

त्यामुळे खगोलशास्त्रीय वेधांनी T म्हणजे किती वर्षे ($T_{\oplus} = 1$ वर्ष) हे मोजले की R म्हणजे किती A. U. ($R_{\oplus} = 1$ A. U.) हे कळते.

ग्रहांचे वस्तुमान : ज्या ग्रहांभोवती उपग्रह आहेत त्यांचे वस्तुमान आपल्याला त्या उपग्रहांच्या कक्षा तपासून समजू शकते. आधी पृथ्वी आणि चंद्र यांच्या बाबतीत काढलेले समीकरण (4) असता ह्या ग्रह - उपग्रह यांना वापरावे. इथे आपल्याला T हा निरीक्षणाने माहीत आहे. R माहीत करायला त्रिकोण मीती वापरावी लागते (पहा चित्र क्रमांक–54) त्यावरून आपल्याला M (= ग्रहाचे वस्तुमान) किती ते कळते. नेपच्यून किंवा प्लूटो यांचे वस्तुमान त्यांच्यामुळे शेजारच्या ग्रहांच्या गतीवरील परिणामाने कळू शकते—पण हे गणित क्लिष्ट आहे. त्याचप्रमाणे बुध आणि शुक्र यांचे वस्तुमान त्यांच्या गुरुत्वाकर्षणाचा धूमकेतूंच्या कक्षांवर किंवा (शुक्राच्या बाबतीत) पृथ्वी आणि मंगळाच्या कक्षांवर होणारे परिणाम तपासून ठरवले जाते.

सूर्याचे वस्तूमान : केप्लरच्या नियमाचा वापर करून आपल्याला जशी ग्रहांची अंतरे (सूर्यापासूनची) कळतात तसेच त्या नियमामागची न्यूटनची कारणमीमांसा लक्षात घेऊन आपल्याला सूर्याचे वस्तुमान मोजता येते. जर समीकरण (4) आपण पृथ्वी आणि सूर्य यांच्या बाबतीत वापरले तर

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2}{G T_{\oplus}^2} R_{\oplus}^3$$

असे सूत्र आपल्याला मिळते. येथे G = गुरुत्वाकर्षणाचा स्थिरांक, $R_{\oplus} = 1$ A.U. आणि $T_{\oplus} = 1$ वर्ष. हे सर्व आपल्याला माहीत आहेत. त्यावरून सूर्याचे वस्तुमान

$$M_{\odot} = 2 \times 10^{33} \text{ ग्राम}$$

असे उत्तर येते.

सूर्यमालेची उत्पत्ती

सूर्य, त्याच्याभोवती असलेले ग्रह, धूमकेतू, मीटिओराइट, चंद्रादि उपग्रह हे सर्व सूर्यमालेचे (Solar System) घटक समजले जातात. ही सूर्यमाला जन्माला कशी आली हा अद्याप न सुटलेला प्रश्न आहे. तथापि मीटिओराइट, चंद्रावरचे पृष्ठभागावरील पदार्थांचे नमूने, अंतराळात धाडलेली वेगवेगळी उपकरणे यांवरून सध्या खगोलशास्त्रात सूर्यमालेच्या उत्पत्ती संबंधी ज्या कल्पना मांडल्या जात आहेत त्यांची थोडक्यात चर्चा करणे योग्य होईल.

सूर्याभ्रिकेचा सिद्धांत – आजकालच्या बहुतेक कल्पना सतराव्या शतकात रेने डेकार्ट

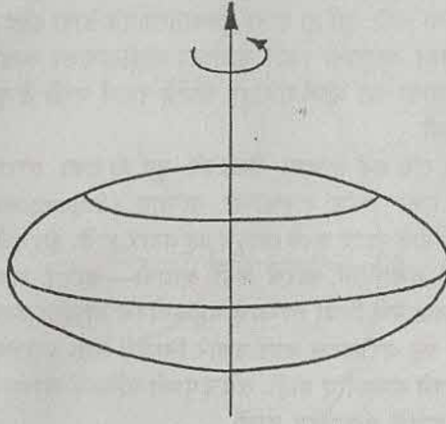
(Rene Descartes) ह्या गणितज्ञाच्या सूर्याभ्रिके (Solar Nebula) च्या सिद्धांतावर आधारित आहेत. ह्या कल्पने प्रमाणे सूर्यमाला ही एका गोल फिरणाऱ्या तबकडीच्या आकाराच्या वायू (Gas) आणि धूळ (Dust) यांच्या मिश्रणातून तयार झाली.

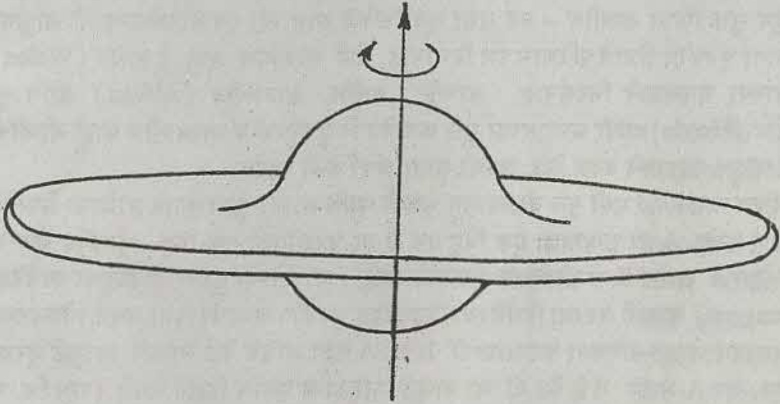
ही चकती कशी तयार झाली याबद्दल गुरुत्वाकर्षण आणि भौतिकशास्त्राच्या त्यावेळी माहीत असलेल्या नियमांच्या आधारे गेल्या शतकातला गणिती लप्लास (Laplace) याने जे विचार मांडले ते थोडक्यात असे आहेत.

एका मोठ्या मेघातून प्रथम एक लपका बाहेर पडतो आणि त्याचे स्वतःच्याच गुरुत्वाकर्षणाखाली आकुंचन सुरू होते. मुळात हा लपका वायु आणि धुळीने भरलेल्या आणि एका अक्षा भोवती फिरणाऱ्या चेंडू प्रमाणे असतो. (पुढे तारका निर्मितीच्या संदर्भात आपण एका मोठ्या मेघातून लपके लपके बाहेर पडून त्यातून तारे तयार होतात ही कल्पना पाहू : प्रकरण 5). गति शास्त्राच्या नियमा प्रमाणे पृथ्वी जशी ध्रुवप्रदेशाजवळ चपटी होते तसा हा गोळा अक्षा भोवती फिरल्यामुळे चपटा व्हायला लागतो (पहा चित्र-क्रमांक -55). त्याच बरोबर त्याचा फिरण्याचा कोनीय वेग वाढत जातो. ह्या कोनीय वेगामुळे त्या वस्तूवरील अक्षापासून दूर फेकणारे बळ (Centrifugal force) वाढत जाते. (एखाद्या वाहनात बसलेल्याला ते वाहन वळण घेत असताना ह्या बळाचा अनुभव येतो). अशा बळामुळे त्या चपट्या गोळ्यातील बराचसा भाग विषुववृत्ताच्या प्रदेशातून बाहेर फेकला जातो आणि त्याची चकती तयार होते. अशा प्रकारे चि. क्र. 55 च्या दुसऱ्या भागात दाखवल्याप्रमाणे मध्ये एक फुगलेला भाग आणि त्या भोवती सपाट चकती असे त्या मूळ गोळ्याचे कालांतराने रूपांतर होते.

मधल्या फुग्यातून सूर्य आणि चकतीतून ग्रह निर्माण झाले असा लप्लासचा तर्क होता. परंतु तो ढोबळ मानाने बरोबर वाटला तरी सदोष आहे. एक प्रमुख टीका अशीः ह्या प्रकारे मूल गोळ्यातला जवळ जवळ एक तृतीयांश भाग चकतीत जाईल. परंतु प्रत्यक्ष सूर्यमालेतील एकंदर वस्तुमानापैकी जेमतेम 0.14% वस्तुमान ग्रहात सापडते. बाकी सर्व सूर्यातच समाविष्ट आहे. शिवाय ग्रह जितक्या लांब पर्यंत पसरलेत तितक्या लांब पर्यंत ही चकती पोचत नाहीं ! लप्लासने मांडलेल्या सिद्धांताचा सूर्यमालेच्या निर्मितीला जरी फायदा होत नसला तरी दोन एकमेका जवळ असलेल्या, परस्परांभोवती फिरणाऱ्या ताऱ्यांच्या निर्मितीसाठी तो उपयोगी पडतो. अशी **तारा युगले** (Binaries) देखील अनेक सापडतात. यांत चकतीचे रुपांतर दुसऱ्या ताऱ्यात झालेले असते. हे दोन्ही तारे परस्परांना जवळ जवळ चिकटून असतात, म्हणून त्याना चिकटलेले तारायुगल (Contact Binary) हे नाव दिले आहे.

दोन किंवा तीन ताऱ्यांचा सिद्धांत – लप्लासची कल्पना सदोष वाटल्याने इतर कल्पना मांडण्यात आल्या. एक तर्क असा की सूर्याभ्रिके जवळून एक दुसरा तारा जात असताना त्याच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे एक छोटासा लपका मूल गोळ्यातून बाहेर खेचला गेला. ह्या खेचलेल्या





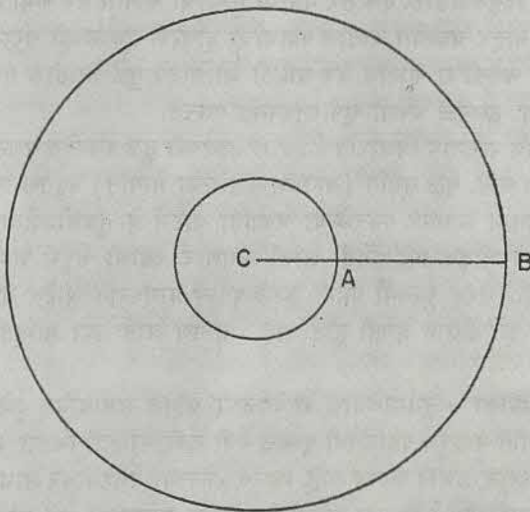
चित्र क्रमांक 55 : स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरणारी सूर्याभ्रिका चपटी होते आणि शेवटी तिच्या विषुववृत्ताच्या भागापाशी एक चकती तयार होते.

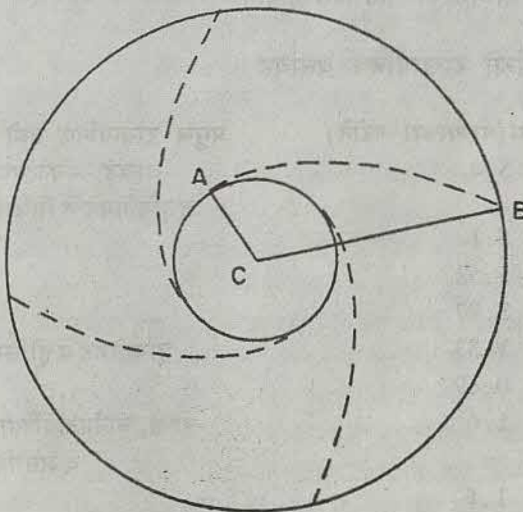
लपक्याची पट्टी तयार झाली आणि त्यांतून पुढे ग्रह निर्माण झाले. ह्यालाच जोडून पण जरा वेगळी दुसरी एक कल्पना अशी. सूर्य हा तारा युगलातला एक तारा होता. ह्या युगला जवळून एक तिसराच तारा जात असताना त्याने सूर्याच्या जोडीदाराला स्वतःच्या गुरुत्वाकर्षणाखाली ओढून नेले. जाताना त्या जोडीदारातून थोडेसे पदार्थ उरले ते सूर्याच्या सान्निध्यात राहून ग्रहनिर्मिती झाली. .

ह्याशिवाय असाही एक तर्क मांडला गेला की सूर्य हा एका तारायुगलात असे परंतु त्याच्या जोडीदाराचे एका स्फोट पावणाऱ्या ताऱ्यात (Supernova) रूपांतर झाले. त्या स्फोटातून जे काही थोडे पदार्थ उरले त्यांतून ग्रह तयार झाले. ह्या सर्व तर्कातून असे दिसते की ग्रहांची निर्मितीची संभाव्यता फारच कमी असावी—कारण आकाश गंगेत इतस्ततः फिरणारे तारे फार जवळ येणे किंवा ताऱ्याचे महास्फोटक ताऱ्यात रूपांतर होणे क्वचितच घडून येते. जर आपले ग्रह खरोखरच अशा प्रकारे निर्माण झाले असतील तर इतर ताऱ्यांत ग्रह माला सापडणे फारसे संभवनीय नाहीं. तसेच पृथ्वी पलिकडे जीवसृष्टी असणे हे ही ह्या प्रकारच्या तर्कावरून फारसे संभवनीय नाहीं.

चुंबकीय क्षेत्राचा उपयोग – सूर्यात आणि पृथ्वीत चुंबकीय क्षेत्र सापडते. चुंबकीय क्षेत्राचा विद्युतभारांच्या गतीवर परिणाम होतो हे आपण दुसऱ्या प्रकरणात पाहिले. जर सूर्याभ्रिकेतील वायु 'प्लास्मा' च्या रूपात असेल – म्हणजे त्याच्या अणूतील बाहेरचे इलेक्ट्रॉन अणुगर्भ सोडून मुक्त फिरत असतील – तर अशा सूर्याभ्रिकेचे स्वतःच्या गुरुत्वाकर्षणाखाली आकुंचन होताना चुंबकीय क्षेत्राचे परिणाम पण विचारात घेणे आवश्यक आहे हे वालेन (Walen) नावाच्या शास्त्रज्ञाने निदर्शनास आणले. वालेन, आल्फव्हेन (Alfven) आणि पुढे हॉयेल (Hoyle) यांनी लप्लासच्या मूळ कल्पनेत विद्युच्चुंबकीय शास्त्रातील कांही गोष्टींची भर घालून महत्त्वाचे बदल केले. त्यांची आता चर्चा केली जाईल.

चित्र क्रमांक 56 मध्ये मूल गोळ्यातून चकती आणि मधला फुगा तयार झालेल्या स्थितीचे चित्रण आहे. A हा फुग्यातला एक बिंदू तर B हा चकतीतला एक बिंदू. चुंबकीय क्षेत्राची एक रेषा A आणि B ना जोडलेली दाखवली आहे. (ह्या रेषेच्या कुठल्याही बिंदूवर स्पर्शरेखा (Tangent) काढली तर त्या दिशेने त्या बिंदूवरील चुंबकीय क्षेत्राची दिशा असते.) केप्लरच्या नियमाप्रमाणे एक परिक्रमा करण्यासाठी B ला A पेक्षा अधिक वेळ लागतो. त्यामुळे सुरवातीला जर A आणि B हे केंद्र C च्या बाजूने पाहिल्यास एकाच दिशेने असले (पहा चि. क्र. 56, पहिला भाग) तरी काही काळाने A हा B च्या पुढे गेलेला असेल (चि. क्र. 56, दुसरा भाग). त्यामुळे A आणि B ना जोडणाऱ्या रेषेला पीळ पडेल. अर्थात् जर A आणि B ह्या ठिकाणी विद्युतभार असले तरच हे घडून येईल कारण चुंबकीय क्षेत्राच्या रेषा विद्युतभारांबरोबर प्रवास करतात. परंतु पीळ पडलेला सरळ करण्याकडे ह्या रेषेची प्रवृत्ती असते. त्यामुळे A ची पुढे जाण्याची प्रवृत्ती कमी होते –तो मागे खेचला जातो. त्याचप्रमाणे B हा पुढे खेचला





चित्र क्रमांक 56 : चुंबकीय क्षेत्रामुळे आतील फुग्याची स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरण्याची कोनीय गती कमी होते. आणि बाहेरील चकतीची हीच गती वाढत जाते. टिंबांकित रेषा चुंबकीयक्षेत्राच्या बळरेषा आहेत. A आणि B ला जोडणारी रेषा A ला मागे खेचते तर B ला पुढे ओढते.

जातो. ह्यामुळे दोन परिणाम दिसून येतात. एक तर मधल्या फुग्याचा कोनीय वेग कमी होत जातो आणि त्यामुळे त्यातून बाहेर चकतीत आतील पदार्थांची होणारी हकालपट्टी संपुष्टात येते. दुसरा परिणाम म्हणजे चकतीचा कोनीय वेग वाढतो आणि त्यामुळे त्यातील पदार्थ अक्षापासून दूर फेकले जातात. ह्यामुळे चकती खूप लांबपर्यंत पसरते.

अशा तऱ्हेने चुंबकीय क्षेत्राचे परिणाम विचारात घेऊन लप्लासच्या मूळ कल्पनेत यशस्वी-रीत्या बदल करणे शक्य झाले आहे. मूळ सूर्यात (आंतल्या फुगलेल्या भागात) बहुतेक वस्तु-मान ठेवून अगदी थोडे वस्तुमान लांबवर पसरलेल्या चकतीत वाटणे हे चुंबकीयक्षेत्रामुळे जमू शकले. ह्या बाहेरच्या चकतीतून ग्रहनिर्मिती झाली असणार. त्याची संपूर्ण कारण-मीमांसा अजून उपलब्ध नाही. परंतु कुठल्या ग्रहात कुठले पदार्थ प्रामुख्याने आहेत यांची माहिती मिळू लागल्यापासून ह्या क्षेत्रात प्रगती होत आहे. आपण आता ह्या माहितीचा थोडक्यात आढावा घेऊ.

रासायनिक दृष्टिकोनातून सूर्यमाला – सूर्यमालेतील वेगवेगळ्या ग्रहात रासायनिक दृष्ट्या विविधता आढळते. अलिकडे याने पाठवून ग्रहांसंबंधी पुष्कळ नवी नवी माहिती मिळत आहे त्यामुळे अनेक पुर्वकल्पनांना बदलून टाकावे लागत आहे. म्हणून आजच्या माहितीवर आधार-लेले तर्क कदाचित् उद्याच्या माहितीमुळे टाकाऊ ठरण्याची शक्यता नाकारता येत नाही ! तरीं आजवरच्या माहितीवरून वेगवेगळ्या ग्रहात कोणती रासायनिक मूलतत्वे आणि इतर द्रव्ये प्रामुख्याने आढळतात हे खालील सारणीत दिले आहे.

ग्रहांची रासायनिक बनावट

ग्रह	घनता (पाण्याच्या पटीने)	प्रमुख रासायनिक द्रव्ये
बुध	5.4	लोखंड, मॅगनेशियम, अलुमिनियम व सिलिकन
शुक्र	5.1	,,
पृथ्वी	5.52	,,
मंगळ	3.97	,,
गुरू	1.33	हायड्रोजन व हीलियम
शनि	0.69	,,
यूरेनस	1.6	पाणी, कार्बनडायॉक्साइड व अमोनिया
नेपच्यून	1.6	,,

(व्हॉयेजर यानांकडून अलिकडेच पुष्कळ नवीन माहिती मिळत असल्याने वरील सारणीत बदल होण्याची शक्यता आहे.)

यावरून असा प्रश्न येतो. हे सर्व ग्रह जर एकाच सूर्याभ्रिकेतून निर्माण झाले तर त्यांच्यात असे फरक कसे झाले ? आणि ग्रहांत व सूर्यात सुद्धा रासायनिक घडवणुकीतला फरक का दिसतो ? सूर्यात हायड्रोजन प्रामुख्याने आणि त्याच्या खालोखाल हीलियम असतो. खगोल-रसायन शास्त्र (Cosmochemistry) ह्या विषयात हे प्रश्न चर्चिले जातात.

सूर्याभ्रिकेच्या निर्मितीकडे आपण लक्ष पुरवले तर असे दिसून येते की जेव्हा मधल्या गोळयातून चकती बाहेर निघायला सुरवात होते तेव्हा पृष्ठभागाचे तपमान 4000°K असते. परंतु ही चकती जशी जशी लांब वर पसरत जाते तसे तसे तिच्या बाहेरच्या भागाचे तपमान कमी कमी होत जाते. अशा परिस्थितीत ठराविक पदार्थाचे ठराविक पातळीपर्यंत तपमान घसरले की वायूतून द्रव व घनरूपात रूपांतर होते. ज्या पदार्थासाठी ह्या तपमानाची पातळी बरीच वर असते ते पदार्थ आधी म्हणजे सूर्याजवळच्या भागात वायूतून द्रव-घनरूपात अवतरतात. त्याउलट ज्या पदार्थांची ही रूपांतराच्या तपमानाची पातळी बरीच खाली असते त्यांचे रूपांतर सूर्यापासून लांब अंतरावर होते. आणि एकदा द्रव / घनरूपात रूपांतर झाले की ते पदार्थ (त्यावरील घर्षणामुळे) आणखी लांब न जाता तेथल्या तेथेच मुक्काम ठोकतात.

ह्या दृष्टिकोनातून पाहिले की ग्रहांमध्ये फरक का दिसून येतात ते कळते. **आंतल्या ग्रहांच्या** (Inner Planets) म्हणजे बुधापासून मंगळापर्यंत अंतरापर्यंत. तपमानाची पातळी इतकी वर असते की ज्यांचे उत्कलन बिंदू त्यावर असतील असे पदार्थ तिथे सापडतात. ह्यात लोखंड, मॅगनेशियम ऑक्साइड, सिलीकन ऑक्साइड, कॅलशियम ऑक्साइड, ॲल्यु-मिनियम आक्साइड इत्यादींचा समावेश आहे. ह्या घनीभूत झालेल्या पदार्थांचे लपके एकत्र येऊन त्यांतून हे ग्रह तयार झाले असावेत. त्याचप्रमाणे सूर्यापासून अधिक लांब गेल्यास **बाहेरच्या ग्रहात** (Outer Planets), गुरू शनी इत्यादीत वेगळीं रासायनिक द्रव्ये सापडतात.

ह्या विधानांना रासायनिक हिशोबांनी पुष्टी दिली आहे. शिवाय ठिकठिकाणाहून येणारे मीटिओराइट सुद्धा, ते तयार झाले त्या भागातली रासायनिक बनावट कशी होती याची माहिती पुरवतात. न्यूनग्रहांच्या निर्मिती बद्दल पूर्वी अशी कल्पना होती की मंगळ आणि गुरू-च्या दरम्यान टायटस-बोड यांच्या n = 3 ह्या ठिकाणी एक ग्रह होता तो काही कारणाने भग्न झाल्याने त्याचे अवशेष न्यूनग्रहाच्या रूपाने दिसतात. आता ही कल्पना बदलून मुळात तेथे ग्रहच नव्हता—फक्त हे न्यूनग्रहरूप तुकडेच चकतीतून घनीभूत झाले (आणि ग्रह रूपाने एकत्र येऊ शकले नाहीत) असा खगोल शास्त्रज्ञांचा समज आहे.

उपग्रह कसे तयार झाले? ते पण चकतीतूनच आले. एकंदरीत सूर्याभोवती ग्रह जसे फिरतात तसेच ग्रहा भोवती उपग्रह फिरताना दिसतात. ह्या नियमाला एक अपवाद आहे ! यूरेनस-चे उपग्रह ज्या समतलात फिरतात ते, ग्रह ज्या समतलात सूर्याभोवती फिरतात त्या समतलाशी 98° चा कोन करून आहे. चंद्र-पृथ्वी हे एका वेगळया बाबतीत अपवादात्मक आहेत.

चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या 3/244 पट आहे. इतर ग्रहांचे उपग्रह आपापल्या ग्रहांपेक्षा याहून पुष्कळच 'हलके' आहेत. शिवाय चंद्रात लोखंडाचे प्रमाण फारच कमी आहे आणि त्याचे इतर काही रासायनिक घटक पण पृथ्वी पेक्षा वेगळे आहेत. 'अपोलो' मालेतील अंतराळ स्वाऱ्यांतून चंद्रावरून आणलेल्या 'माती' वरून हे निष्कर्ष निघाले. म्हणून चंद्र हा पृथ्वीच्याच एका भागातून निर्माण झाला असावा असे मानण्योस आता जागा राहिली नाही!

शनि आणि यूरेनस भोवती असलेली रिंगणे कशी तयार झाली ? त्यांची निर्मिती त्या ग्रहांसमवेतच झाली असेल का ? किंवा त्यांच्या भोवती पूर्वी फिरणारे उपग्रह मोडून त्यातील कण आता ग्रहांभोवती घिरट्या घालत आहेत का ? किंवा दोन उपग्रहांच्या टकरीतून अशी रिंगणे तयार झाली असतील का ? अजून ह्या प्रश्नांची उत्तरे मिळाली नाहींत.

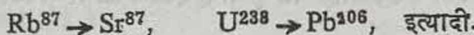
शेवटी, धूमकेतू कुठून येतात ? ऊर्ट (Oort) नावाच्या एका खगोलशास्त्रज्ञाने असे सुचवले होते की सूर्यापासून सुमारे 50,000 A.U. अंतरावर एक धूमकेतूंचा मेघ (Comentary Cloud) आहे जियून हे उगम पावतात. सूर्यापासून इतक्या लांब असल्याने ते ताऱ्यांमधल्या प्रदेशातून (Interstellar Medium) येतात असे म्हटले पाहिजे. ही कल्पना जर बरोबर असेल तर धूमकेतूतून आपल्याला अशा प्रदेशाची पण माहिती मिळेल. काही धूमकेतूंचे सखोल निरीक्षण करण्यात आले असून त्यांत अनेक प्रकारचे रासायनिक आणि कार्बनिक रेणू सापडले आहेत.

काहीं शास्त्रज्ञांचे असे म्हणणे आहे की धूमकेतू सूर्यमालेतच उगम पावतात आणि त्यांच्या अतिवक्रगोलाकार कक्षांमुळे ते सूर्यापासून बरेच लांब जातात. काही झाले तरी धूमकेतू हे सूर्यमालेचा फार दूरच्या प्रदेशांशी संबंध जोडून देतात.

सूर्यमालेचे वयोमान

सूर्यमाला वयाने केवढी आहे ? याचे उत्तर आहे सुमारे 450 कोटी वर्षे ! हे उत्तर कसे शोधून काढले ? याकरिता पृथ्वीवरच्या पदार्थांची, मीटिओराइटची वगैरे रासायनिक छाननी उपयोगी पडते. यामागे अणुगर्भीय शास्त्रातले काही नियम वापरण्यात येतात. (अर्थात एकंदर सूर्यमाला एकाच वेळी जन्माला आली असे गृहीतक असल्याने पृथ्वीचे वय समजले की एकंदर सूर्यमालेचे वय किती याचा अंदाज मिळतो.)

पृथ्वीचे 'कमीत कमी' वय त्यावरील काही जुन्या खडकां (Rocks) च्या तपासणी वरून कळते. त्यांतील काही अणुगर्भांचे मंद क्रियेमुळे दुसऱ्या अणुगर्भांत रूपांतर होते, उदाहरणार्थ :



$Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$, $U^{238} \rightarrow Pb^{206}$, इत्यादी.

समजा आपण एखाद्या जुन्या खडकातले युरेनियम आणि शिसे (U^{238} आणि Pb^{206}) यांचे प्रमाण मोजले आणि त्याची तुलना एका अलिकडे बनलेल्या खडकाशी केली तर जुन्या खडकातील प्रमाणात आणि नव्या खडकातील प्रमाणात फरक आढळून येईल. कारण मंद क्रियेमुळे U^{238}/Pb^{206} हे गुणोत्तर काला प्रमाणे कमी होत जाते. त्याचा कमी होण्याचा वेग मंद क्रियेच्या अभ्यासाने ठरवता येतो आणि त्यावरून जुन्या खडकांचे वय निश्चित करता येते. अशा तऱ्हेने सर्वात जुने खडक 350 कोटी वर्षांचे आहेत, म्हणजे पृथ्वी कमीत कमी इतकी 'वृद्ध' असायला पाहिजे.

दुसरा उपाय म्हणजे ताऱ्यांतून वेगवेगळे अणुगर्भ तयार होऊन बाहेर पडतात (याची चर्चा प्रकरण 5 मध्ये पहा) तेव्हा त्यांचे परस्परातले प्रमाण ठरले आहे. ह्याप्रमाणे युरेनियमचे दोन आयसोटोप U^{235} आणि U^{238} हे 1.6:1 ह्या प्रमाणात तयार होतात. कालांतराने ह्यांचा समावेश जर सूर्याभ्रिकेत झाला तर त्यांचे सध्याचे प्रमाण काय असेल? U^{235} व U^{238} हे दोन्ही मंद क्रियेमुळे बदलतात :



$$U^{235} \rightarrow Pb^{207}, \qquad U^{238} \rightarrow Pb^{206}.$$

परंतु U^{235} चे रुपांतर होण्याचा वेग जास्त असल्याने U^{235}/U^{238} हे गुणोत्तर कालमानाने कमी होते. ते सध्या .007 इतके आहे. यावरून गणित मांडून एकंदर निर्मितीपासूनचा वेळ 660 कोटी वर्षे इतका ठरतो. अर्थात् सौरमाला ह्या अणुगर्भांची कुठल्यातरी ताऱ्यात निर्मिती झाल्यानंतर आस्तित्वात आली असल्याने तिचे वय ह्यापेक्षा कमीच असणार.

वेगवेगळ्या मीटिओराइटमध्ये युरेनियमच्या आयसोटोपांचे असेच रूपांतर घडते. त्यांतून तयार झालेल्या शिस्याच्या आयसोटोपांच्या Pb^{206} व U^{207} च्या वस्तुमानाची मोजणी केल्यास असे दिसून येते की कुठल्याही दोन मीटिओराइटमध्ये Pb^{206} मधल्या फरकाचे Pb^{207} मधील फरकाशी गुणोत्तर जवळ जवळ तेच आहे. यावरून सर्व मीटिओराइट जवळ जवळ एकाच वयाचे असावेत अशी खात्री पटते, आणि हे वय साधारण 450 कोटी वर्षे असे निघते.

अशा तऱ्हेने पृथ्वीचे आणि सौरमालेचे वय ठरवण्यात शास्त्रज्ञांना बरेच यश लाभले आहे. अर्थात ह्या ज्ञानात अंतराळ यानांनी आणलेल्या माहितीमुळे पुढे आणखी महत्त्वाची भर पडणार हे निश्चितच !

५. ताऱ्यांची जीवनगाथा

प्रास्ताविक

रात्री आकाशाकडे दृष्टी टाकली की आपल्याला जिकडे तिकडे असंख्य चांदण्या दिसतात. ग्रहांचे अपवाद सोडले तर ह्या चांदण्या म्हणजे आपल्या सूर्यासारखेच तारे आहेत, यावर प्रथम विश्वास बसत नाही. आकाराने आणि प्रकाशाने हे तारे सूर्यापेक्षा पुष्कळ छोटे दिसतात. याचे कारण ते पृथ्वीपासून सूर्यापेक्षा पुष्कळच जास्त अंतरावर आहेत. तसेच मानवी दृष्टीला सारखे वाटणारे तारे परस्परात अनेक प्रकारांनी वेगळेपण दाखवतात. पण हे वेगळेपण 'पहायला' खगोलशास्त्रज्ञाला भौतिकशास्त्राचे नियम आणि वेगवेगळी उपकरणे वापरावी लागतात. ताऱ्यांची अंतरे कशी मोजली जातात? त्यांचे वेगवेगळे गुण शास्त्रज्ञाला कसे कळतात? आणि, त्यांचा सर्वात डोळ्यात भरणारा गुण : स्वयंप्रकाशित असणे हा त्यांच्यात कसा येतो? आपल्या सूर्यमालेत सूर्यच एकटा स्वयंप्रकाशित आहे. ग्रह, उपग्रह, धूमकेतू हे सर्व आपल्याला दिसतात ते सूर्यप्रकाशामुळे.

ह्या प्रश्नांची उत्तरे शोधताना खगोलशास्त्रज्ञांनी आणखी एका महत्वाच्या प्रश्नावर लक्ष केंद्रित केले आहे. तो प्रश्न म्हणजे ताऱ्यांमध्ये कालमानाने बदल कसे घडून येतात? तारे जन्मतात कसे? त्यांचा 'अंत' कसा होतो? आपल्या सूर्याबद्दल तर हे प्रश्न विचारू शकतो— कारण केवळ जिज्ञासेव्यतिरिक्त त्यांत एक वेगळा हेतू पण आहे. सूर्यात घडणाऱ्या बदलांचा पृथ्वीवर परिणाम होण्याची शक्यता आहे आणि त्यामुळे पृथ्वीवरील जीवसृष्टीचे अस्तित्व धोक्यात येण्याची शक्यता आहे का? आपण ह्या सर्व प्रश्नांचा येथे विचार करू.

ताऱ्यांमध्ये घडणारे बदल जर अतिशय सावकाश घडत असतील तर ते आपल्याला समजणार कसे? मानवाचे आयुष्य साधारण 70–80 वर्षांपर्यंत मर्यादित मानले तरी अशा शेकडों-हजारों-आयुष्यांच्या कालखंडात देखील ताऱ्यांत बदल घडलेले दिसत नाहीत. असे असून

ताऱ्यांची जीवनगाथा लिहिण्यात खगोलशास्त्रज्ञांनी यश कसे मिळविले ? त्यामागची भूमिका खालील उदाहरणाने स्पष्ट होईल.

समजा आपल्या पृथ्वी बाहेरील अतिप्रगत जीवसृष्टीतला एखादा जीव पृथ्वीवर एक दिवसाकरता आला. आपल्या एक दिवसाच्या वास्तव्यात त्याला मानवी आयुष्य कसे असते— वयोमानाप्रमाणे मानवात कसे बदल होतात—त्याचा जन्म कसा होतो—अंत कसा होतो हे कळू शकेल का ? अर्थात् एका माणसावर लक्ष केंद्रित करून त्याला एका दिवसात ही माहिती मिळणे शक्य नाही. परंतु त्याने एका शहरातील सर्व लोकांकडे पाहिल्यास त्याला मानवी जीवनातील वेगवेगळ्या परिस्थितींचे दर्शन होईल. जन्म,बालपण, प्रौढावस्था, वृद्धत्व, मृत्यू ह्या सर्वांबद्दल त्याला एका दिवसात माहिती मिळेल.

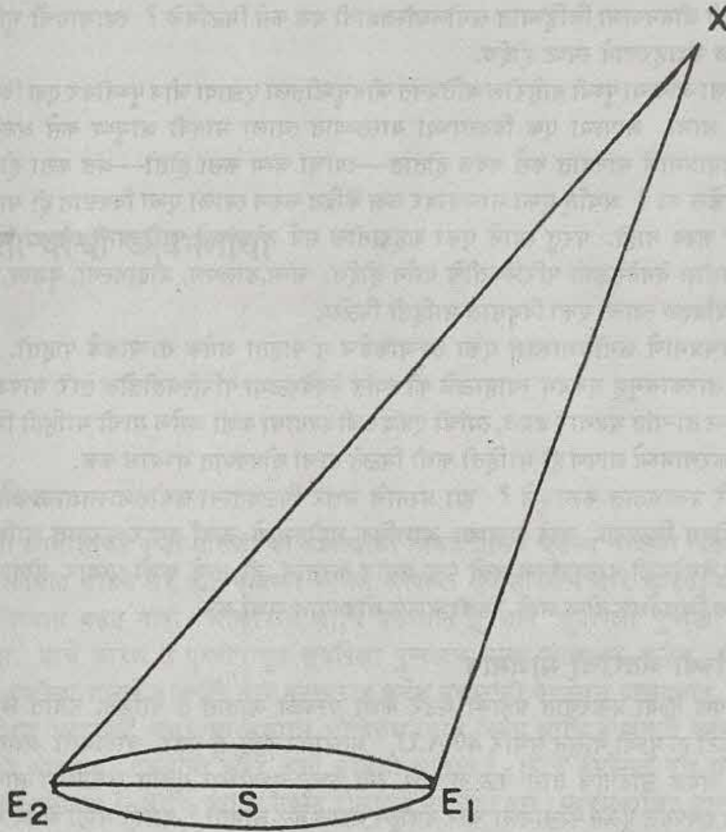
त्याचप्रमाणे खगोलशास्त्रज्ञ एका ताऱ्याकडेच न पाहता अनेक ताऱ्यांकडे पाहतो. असे अनेक तारकासमूह एकदम न्याहाळले की त्यांत वेगवेगळ्या परिस्थितीतील तारे सापडतात. त्यावरून ताऱ्यांत घडणारे बदल, त्यांची एकंदर जीवनगाथा कशी असेल याची माहिती मिळते. ह्या प्रकरणामध्ये आपण ही माहिती कशी मिळते याचा थोडक्यात अभ्यास करू.

तारे प्रकाशतात कशामुळे ? ह्या प्रश्नाचे उत्तर मिळवताना खगोलशास्त्रज्ञाला आणखी एक बोनस मिळाला. तारे एखाद्या आणविक भट्टीप्रमाणे ऊर्जा तयार करतात आणि त्या भट्टीत वेगवेगळी रासायनिक तत्वे पण तयार करतात. ही तत्वे कशी तयार होतात ही पण एक चित्तवेधक गोष्ट आहे, जिची आपण थोडक्यात चर्चा करू.

ताऱ्यांच्या अंतराची मोजमाप

आपण गेल्या प्रकरणात ग्रहांची अंतरे कशी मोजली जातात ते पाहिले. सर्वात लांबचा ग्रह प्लूटो हा पृथ्वी पासून सुमारे 40 A.U. अंतरावर आहे. हे अंतर तोडायला प्रकाशाला जवळ जवळ साडेपांच तास वेळ लागतो. त्या उलट पृथ्वीच्या सर्वात जवळच्या ताऱ्याचा प्रकाश इथपर्यंत येऊन पोचायला चार वर्षांहून जास्त वेळ लागतो ! इतकी मोठी अंतरे मोजायला शास्त्रज्ञाला अर्थातच वेगळ्या मार्गांचा अवलंब करावा लागतो. ताऱ्यांची अंतरे मोजायचे दोन प्रकार खाली वर्णन केले आहेत.

1) **त्रिकोणमीतिचा प्रकार** – चित्र क्रमांक 57 मध्ये पृथ्वी आपल्या कक्षेत फिरताना दाखवली आहे. ती जर अमुक एक वेळी E_1 ह्या ठिकाणी असेल तर सहा महिन्यानी ती E_2 वर, कक्षेच्या E_1 पासूनच्या विरूद्ध टोकाला असेल. (कक्षा वक्रगोलाकार असल्याने E_1E_2 ही रेषा सूर्यातून S मधून जाईल.) जर तारा हा X ह्या ठिकाणी असेल तर त्याची दिशा E_1 आणि E_2 पासून पाहिल्यास थोडी वेगळी वाटेल. त्या दिशांमधला कोन $\angle E_1XE_2$ हा वेधांनी मोजता येतो. तसेच $\angle XE_1S$ आणि $\angle XE_2S$ हे कोन ही वेधांनी मोजता येतात. मग त्रिकोण मीती वापरून आपल्याला E_1E_2 ह्या लांबी वरून ($=_2$A.U.) E_1X_1, E_2X आणि SX ह्या लांब्या कळतात.



चित्र क्रमांक 57 : ताऱ्याचा पराशय (Parallax) मोजून त्याचे अंतर शोधून काढण्याचा त्रिकोणमीतीचा प्रकार वरील चित्रात दाखवला आहे.

वरील उदाहरणात $\angle E_1XE_2$ च्या निम्म्या कोनाला ताऱ्याचा पराशय (Parallax) म्हणतात. चि. क्र. 57 मधला तारा जर E_1 आणि E_2 पासून समान अंतरावर असेल आणि जर $\frac{1}{2}\angle E_1XE_2 =$ एक आर्क सेकंद (म्हणजे 'डिग्री' चा 3600 वा भाग) तर त्या परिस्थितीत ताऱ्याचे सूर्यापासूनचे अंतर **1 पार्सेक** आहे असे म्हटले जाते. पार्सेक हे अंतर मोजायचे एकक खगोलशास्त्रात पुष्कळ प्रचलित आहे. याची इतर एककांशी खाली तुलना केली आहे :

1 पार्सेक (pc) = 3.0856×10^{18} सेंटीमीटर = 3.26 प्रकाशवर्षे
1 किलो पार्सेक (kpc) = 1000 पार्सेक
1 मेगापार्सेक (mpc) = 10^6 पार्सेक

ह्यां पद्धतीने साधारण 50 पार्सेक पर्यंतची अंतरे मोजता येतात.

2) **दीप्तिस्रोताचा प्रकार** – समजा एका ताऱ्यातून दर सेंकंदाला (किंवा कुठल्या ठराविक कालावधिच्या एककात) प्रकाश रूपाने L इतकी ऊर्जा बाहेर पडत आहे. जर ताऱ्याचे आपल्यापासूनचे अंतर d असेल तर, आपल्या वाट्याला यातील किती ऊर्जा येईल ?

चित्र क्रमांक 58 मध्ये त्या ताऱ्यावर केंद्रित असलेला d अर्धव्यासाचा गोल काढला आहे. आपण (E) त्या गोलाच्या पृष्ठभागावर आहोत. ह्या पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ आहे $4\pi d^2$. ह्या सर्व क्षेत्रफळावर दर सेकंदाला L इतक्या ऊर्जेचे वाटप होत आहे. जर आपण आपल्या भोवती त्या पृष्ठभागावरील क्षेत्रफळाचे एक एकक (= समजा 1 स्क्वेअर सेंटीमीटर) काबीज केले तर आपल्या वाट्याला त्यापैकी किती ऊर्जा येईल? हिशोब सरळ आहे आणि उत्तर आहे.

$$f = \frac{L}{4\pi d^2} \qquad (1)$$

जर आपल्याला L किती आहे ते माहीत असेल तर f ची मोजमाप करून आपल्याला ताऱ्यांचे अंतर

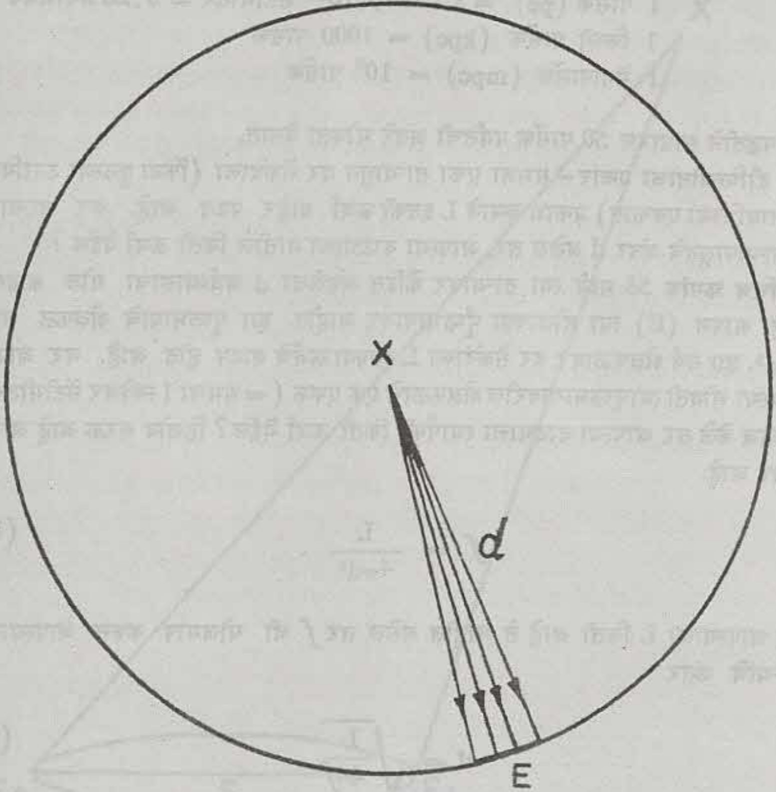
$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi f}} \qquad (2)$$

कळते.

तिसऱ्या प्रकरणात वर्णन केलेल्या उपकरणांद्वारे आपल्याला f मोजता येतो. L म्हणजे ताऱ्याचा दीप्तिस्रोत कसा मोजायचा ? समजा A आणि B हे दोन सारखे तारे आहेत आणि त्यापैकी A हा बऱ्यापैकी जवळ असल्याने त्याचे अंतर आपल्याला माहीत आहे. (अर्थात् हे अंतर पहिल्या - त्रिकोणमीतीच्या - प्रकाराने मोजण्याजोगे आहे असे इथे गृहीत धरले आहे.) समजा हे अंतर d_A आहे आणि A च्या f ची किंमत f_A इतकी आहे. मग पहिल्या समीकरणाने A चा दीप्तिस्रोत

$$L_A = 4\pi d_A^2 f_A$$

इतका होतो. B आणि A हे सारखे तारे असले तर B चा दीप्तिस्रोत पण L_A इतकाच असणार.



चित्र क्रमांक 58 : ताऱ्या (X) पासून निघणारा दीप्तिस्त्रोत L हा d अंतरापर्यंत गेल्यावर $4\pi d^2$ ह्या गोलाच्या पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळावर सारखा विभागला जातो. जर पृथ्वी (E) ताऱ्यापासून d अंतरावर असेल तर तिथे प्रारणाच्या लंब दिशेला ठेवलेल्या क्षेत्रफळाच्या एककावर ताऱ्यापासून $L / 4\pi d^2$ इतके प्रारण दर सेकंदाला येते.

मग B च्या f ची मोजमाप करून आपल्याला B चे अंतर समीकरण (2) वरून कळते.

पण जवळचा तारा A आणि लांबचा तारा B हे सारखे आहेत हे कसे ठरवायचे ? याचे उत्तर देण्यासाठी आपल्याला ताऱ्यांच्या काही गुणधर्मांची दखल घेतली पाहिजे. ती घेऊन आपण पुन्हा ह्या प्रश्नाकडे परत येऊ.

ताऱ्यांचे गुणधर्म

आपण मानवी लोकसंख्येचे उदाहरण परत विचारात घेऊ. परकीय अति प्रगत-जीव-सृष्टीतली व्यक्ती मानवी समाजाचा अभ्यास करताना मानवांचे कुठले वास्तवीय गुण विचा-रात घेईल ? त्यांत ऊंची, जाडी, वजन, रंग, केसांची लांबी आणि रंग इत्यादी गुणांचा समावेश असेल. ताऱ्यांच्या 'जमाती'चा अभ्यास करतांना त्यांच्या ज्या गुणांची नोंद घेतली जाते ते अशा प्रकारचे आहेत.

चमक – जरी आपल्या डोळ्यांना तारे एक सारखे प्रकाशवान वाटले तरी जरा काळजी पूर्वक त्यांच्याकडे पाहिले की त्यांच्यात फरक दिसून येईल. काही मंद प्रकाशाचे तारे बराच वेळ न्याहाळल्यावर दिसतात तर काही तारे आपल्या शेजाऱ्यांत जास्त उठून दिसतात. तारे किती चमकदार आहेत याची व्याख्या अर्थातच त्यांच्यातून किती प्रकाश बाहेर पडतो यावर अवलंबून आहे. आणि ह्या संदर्भात दोन वेगळ्या व्याख्या वापरण्यात येतात.

पहिली व्याख्या ताऱ्यातून मुळात किती दीप्तिस्रोत बाहेर पडतो यावर अवलंबून असते. ह्या दीप्तिस्रोताची तुलना लाइट बल्बच्या 'पॉवर' शी करावी. शंभर (वॉट) पॉवरचा बल्ब पंचवीस (वॉट) पॉवरच्या बल्ब पेक्षा अधिक तेजस्वी असतो. त्याप्रमाणे ताऱ्यांचे त्यांच्या दीप्तिस्रोता प्रमाणे नंबर लावण्यात येतात आणि त्या नंबराला त्या ताऱ्याची **प्रत** (**Magnitude**) म्हणतात. त्याप्रमाणे पहिल्या नंबराचा तारा दुसऱ्या नंबराच्या ताऱ्यापेक्षा जितका जास्त तेजस्वी तितकाच दुसऱ्या नंबरचा तारा तिसऱ्या पेक्षा असतो. म्हणजे ह्या 'प्रती'च्या श्रेणी वरचे नंबर तेजस्वीतेच्या दीप्तिस्रोताच्या-भूमिती श्रेढीत असतात. त्याची गणिती व्याख्या खालीलप्रमाणे आहे :

$$M = 2.5 \log L_0 - 2.5 \log L \qquad (3)$$

वरील सूत्रात L ह्या दीप्तिस्रोताचा तारा ह्या प्रतीच्या श्रेणीवर M ह्या जागेवर असेल. $L_0 = 3 \times 10^{28}$ वॉट हा शून्य प्रतीच्या ताऱ्याचा दीप्तिस्रोत. वरील समीकरणात तर ताऱ्याचा दीप्तिस्रोत 100 नी कमी झाला तर त्याचे ह्या प्रत-श्रेणीवरील स्थान 5 नंबरनी खाली येते (म्हणजे वाढते). जितकी त्याची प्रत जास्त तितका तारा कमी तेजस्वी असे समजावे !

ह्या प्रत – श्रेणीला **निरपेक्ष-प्रत** (Absolute Magnitutde) म्हणतात कारण तारा कुठे ही असो त्याची निरपेक्ष-प्रत तीच असते. परंतु वास्तविक व्यवहारात आपल्याला दिसणारे तारे मंद आहेत का तेजस्वी ते कळायला ते सगळे सारख्या अंतरावर पाहिजेत. 100 पॉवरचा बल्ब 25 पॉवरच्या बल्ब पेक्षा मुळात तेजस्वी आहे; परंतु तो जर आपल्यापासून 25 पॉवरच्या बल्बपेक्षा दुप्पट अंतरावर असला तर दोन्ही बल्ब सारखेच प्रकाशवान वाटतात, कारण त्या बल्बांच्या दिशेच्या लंबवत जर आपण एक पृष्ठभाग ठेवला तर त्याच्या वर दोन्ही बल्बांकडून सारखीच ऊर्जा फेकली जाईल. ताऱ्यांच्या बाबतीत तसेच होते ! मुळात तेजस्वी

असलेला तारा फार लांब असला तर तो मंद वाटतो. संस्कृत सुभाषितात

एक: चंद्रस्तमो हन्ति न तु तारागणः शतम् ।

म्हटल्या प्रमाणे चंद्रप्रकाश शंभर ताऱ्यांपेक्षा अधिक तेजस्वी वाटतो तें का ? कारण चंद्र आपल्या फार जवळ आहे. मुळात चंद्र स्वयंप्रकाशित नाहीं आणि तो सूर्याचा जो प्रकाश परावर्तित करतो तो कुठल्याही ताऱ्याच्या प्रकाशापेक्षा पुष्कळ कमी आहे. फक्त आपण जवळ असल्याने तो जास्त वाटतो.

समीकरण (1) मध्ये f, म्हणजे कुठल्याही चमकणाऱ्या वस्तूकडून दर सेकंदाला आपल्याजवळच्या लंबवत पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या एककावर पडणारी प्रकाशाची उर्जा, आपल्याला त्या वस्तूच्या अभिव्यक्त तेजस्वितेची (Apparent Brightness) जाणीव करून देतो. आणि ती मोजायला खगोलशास्त्रज्ञाने अभिव्यक्त - प्रत (Apparent Magnitude) ची श्रेणी तयार केली आहे. ती खालील सूत्राद्वारे मोजली जाते :

$$m = 2.5 \log f_0 - 2.5 \log f \qquad (4)$$

इथे $f_0 = 2.52 \times 10^{-8}$ वॉट प्रति चौरस मीटर इतका आहे. म्हणजे ज्या ताऱ्याची दर सेकंदाला दर चौरस मीटर क्षेत्रफळावर 0.252 अर्ग इतकी उर्जा येते त्याची अभिव्यक्त - प्रतही शून्य असते. सारख्या निरपेक्ष-प्रती (M) चे दोन तारे जर आपल्यापासून वेगवेगळ्या अंतरावर असले तर ज्याची अभिव्यक्त -प्रत जास्त तो आपल्यापासून अधिक लांब समजावा.

1603 मध्ये बेयर (Bayer) यांनें ताऱ्यांना नावे देतांना त्यांच्यात प्रकाशमानतें-प्रमाणे क्रमवारी केली. एखाद्या तारका समूहातला सर्वात तेजस्वी दिसणारा तारा अल्फा (α) ह्या ग्रीक अक्षराने ओळखला जातो. त्यानंतरचा सर्वात तेजस्वी तारा बेटा (β) त्यानंतरचा गामा (γ) अशा तऱ्हेने ताऱ्यांचे नंबर लावण्यात येतात. उदाहरणार्थ सीरियस (Sirius) नावाचा तारा अल्फा कॅनिस मेजॉरिस म्हणून ओळखला जातो. (कॅनिस मेजॉरिस हे 'बृहल्लुब्धक' तारकापुंजाला उद्देशून आहे.)

ह्या प्रत-श्रेणी (मग ती 'निरपेक्ष' असो किंवा 'अभिव्यक्त' असो) साठी सूत्र (3) किंवा (4) मध्ये log वापरण्याचे कारण पूर्वी ह्या श्रेणीतले स्थान डोळ्याने पाहून अंदाजाने ठरवले जाई; आणि डोळ्यानेप ाहिल्यास अमुक तारा तमुक ताऱ्यापेक्षा 'किती पटीने' जास्त चमकदार हे सांगणे अधिक सोपे असते. म्हणजे मानवी डोळ्याला $f_1 - f_2$ हा फरक तितका नीट कळत नाहीं जितका f_1/f_2 कळतो. f_1/f_2 मोजायला log ची श्रेणी अधिक उपयुक्त आहे.

यंत्रांचा वापर जिथे होतो (उदाहरणार्थ रेडिओ खगोलशास्त्रात) तेथे log पेक्षा f मोजणे जास्त सोपे असते.

रंग : आपण जर एक लोखंडाची सळी भट्टीत तापवली तर त्याच्या वाढत्या तपमाना-

प्रमाणे त्याचा रंग लाल पासून पांढरा व नंतर निळा होताना दिसतो. पृष्ठभागाच्या तपमानाप्रमाणे ताऱ्यांचा पण रंग बदलतो.

दुसऱ्या प्रकरणात आपण 'काळे बंदिस्त प्रारण' ह्या प्रारणाची चर्चा केली होती. ताऱ्यांच्या पृष्ठभागातून निघणारे प्रारण बरेचसे ह्या प्रकारचे असते. वेगवेगळ्या रंगांचे फिल्टर घालून (पहा : प्रकरण 3) अमुक एका लहरलांबीच्या आवाक्यात किती प्रारण येत आहे ते मोजता येते. आपण नुकतीच चर्चा केली ते f – म्हणजे दर सेकंदाला ठराविक क्षेत्रफळाच्या एककावर पडणाऱ्या प्रारणातली ऊर्जा—अशा तऱ्हेने वेगवेगळ्या लहरलांबीच्या दरम्यान मोजून त्या ताऱ्याचे प्रारण वेगवेगळ्या रंगात* कसे विभागले गेले ते समजते.

अशा तऱ्हेच्या मोजमापींवरून ताऱ्यातून सर्वाधिक प्रारण कोणत्या रंगातून येते ते समजते. आणि त्यावरून ताऱ्याचा रंग ठरतो. म्हणजे लाल ताऱ्यात सर्वाधिक प्रारण लाल रंगात होते तर निळ्या ताऱ्यात निळ्या रंगात. प्रत्यक्ष डोळ्यांनी पाहून सराइत निरीक्षकाला हे रंग ढोबळ मानाने कळू शकतात, पण उपकरणाद्वारे हे अधिक समर्पकपणे निश्चित करता येते.

आणि काळ्या बंदिस्त प्रारणाचे तपमान वीनच्या नियमाप्रमाणे ज्या लहरलांबीत सर्वाधिक ऊर्जेचे प्रारण होते त्यावरून कळू शकते. तपमान (T) आणि लहरलांबी (λ) यांच्यातला संबंध आहे खालील सूत्राप्रमाणे :

$$T = \left(\frac{0.29}{\lambda}\right) \ {}^{\circ}K$$

इथे λ सेंटीमीटरमध्ये तर तपमान ॲब्सोल्यूट श्रेणीवर आहे. सूर्याच्या बाबतीत $\lambda \cong 5000$ ॲंगस्ट्रॉम 5×10^{-5} सें. मी. असल्याने $T = 5800^{\circ}K$ इतका होतो.

दृश्यप्रकाशाच्या वर्णपंक्तीत निळा रंग साधारण 4600A° तर लाल रंग सुमारे 6300A° पासून सुरू होतो. म्हणजे निळ्या ताऱ्यांचे तपमान सूर्यापेक्षा जास्त (सुमारे 6300°K) तर लाल ताऱ्यांचे कमी (सुमारे 4600°K) असते. जांभळ्या ताऱ्यांचे तपमान तर सुमारे 7500°K पर्यंत असते.

अर्थात ताऱ्यांचे प्रारण काळ्या बंदिस्त प्रारणाप्रमाणे असल्यामुळे ही विधाने करता येतात. प्रत्यक्षात ताऱ्यांच्या प्रारणात आणि काळ्या बंदिस्त प्रारणात थोडे फार फरक असतात आणि त्याप्रमाणे खगोलशास्त्रज्ञाला तपमान मोजण्याच्या पद्धतीत काही सुधारणा कराव्या लागतात. त्यांची चर्चा येथे करीत नाही. पण वरील कार्यपद्धतीप्रमाणे पृथ्वीवर बसून लांबच्या ताऱ्यांचे तपमान कसे मोजता येते याची साधारण कल्पना यावी ही अपेक्षा आहे.

वर्णपंक्ती : इतकी मोठाली तपमाने असल्यावर ताऱ्यांच्या पृष्ठभागावरील अणुरेणूत खळबळ

* रंग आणि लहरलांबी यांच्यातल्या संबंधाची चर्चा प्रकरण–2 मध्ये केली होती.

उडाली नाही तर नवलच. ह्या खळबळीचा पुरावा ताऱ्यांच्या वर्णपंक्तीत सापडतो. अणुरेणुतील इलेक्ट्रॉन अधिक उर्जेच्या कक्षांत जाऊन बसतात आणि त्यांनी तेथून उडी मारली की ठराविक लहरलांबीचा प्रकाश बाहेर पडतो आणि त्या ताऱ्याच्या वर्णपंक्तीत त्या लहरलांबीच्या ठिकाणी एक चमकदार रेषा उमटते. अशा चमकदार रेषांवरून त्या ताऱ्याच्या पृष्ठभागावर कोणत्या प्रकारचे अणुरेणू आहेत ते समजते. त्याचप्रमाणे काळ्या शोषण रेषांवरून ताऱ्यांचा प्रकाश वाटेत शोषणाऱ्या अणरेणूंची माहिती मिळते. **(पहा चित्र क्रमांक–59).**

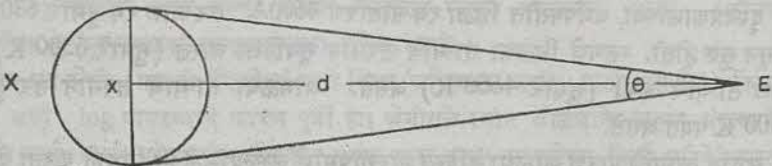
वर्णपंक्तीप्रमाणे ताऱ्यांची वर्गवारी ठरवण्यात आली आहे. पृष्ठभागाच्या तपमानाच्या उतरत्या अनुक्रमाने ह्या वर्गांची नावे आहेत :

O B A F G K M

O–प्रकारच्या ताऱ्यांत आयोनाइझ झालेले* हीलियम, ऑक्सिजन, नायट्रोजन, कार्बन, सिलीकन इत्यादीचे अणू असतात. K–प्रकारच्या ताऱ्यात धातू प्रामुख्याने दिसतात.

आकारमान : सूर्याचा व्यास जवळजवळ 14 लाख किलोमीटर आहे आणि सूर्य हा काही सर्वात मोठा किंवा सर्वात लहान तारा नव्हे. ताऱ्यांच्या आकारमानात पुष्कळ फरक आढळतो. न्यूट्रॉन तारे लहानात लहान म्हणजे वीस किलोमीटर व्यासाचे तर राक्षसी (Giants) आणि महाराक्षसी (Supergiants) तारे इतके मोठे की त्यांचा व्यास सूर्यापासून पृथ्वीच्या अंतरापेक्षाही अनेकपटीने मोठा असतो.

ताऱ्याचा व्यास मोजायला चित्र क्रमांक–60 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे त्याचा कोनीय व्यास आणि आपल्यापासूनचे अंतर माहित पाहिजे. चित्रात दाखविल्याप्रमाणे जर कोनीय व्यास θ'' (=θ आर्कसेकंद = $\theta/3600$ डिग्री) असेल आणि जर ताऱ्याचा पराशय p'' (=p



चित्र क्रमांक 60 : ताऱ्या (X) चे पृथ्वीपासून (Eपासून) चे अंतर जर असेल तर चित्रात दाखवल्याप्रमाणे ताऱ्याचा कोनीय व्यास θ मोजून आपल्याला ताऱ्याचा व्यास x कळू शकतो.

* याचा अर्थ अणूतले काही बाहेरचे इलेक्ट्रॉन अणू सोडून गेलेत असा होतो.

आर्कसेकंद) असेल तर ताऱ्याचे आपल्यापासूनचे अंतर 1/p पार्सेक असणार आणि ताऱ्याचा व्यास

$$x = \frac{\theta}{p} \text{ पार्सेक}$$

असणार. खगोलशास्त्रीय वेधांनी θ आणि p मोजल्यावर वरील सूत्रानुसार ताऱ्याचा व्यास कळतो.

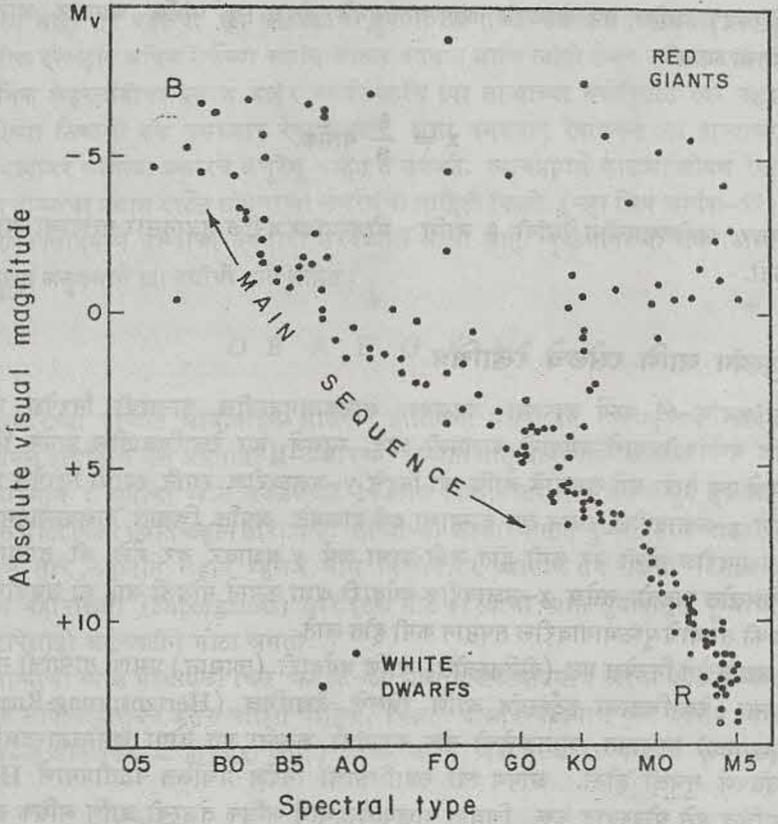
हर्ट्झस्प्रंग आणि रसेलचे रेखाचित्र

चित्र क्रमांक–61 मध्ये आपल्या जवळच्या तारकासमूहातील ताऱ्यांची निरपेक्ष प्रत आणि वर्णपंक्तीप्रमाणे वर्गवारी दाखवली आहे. म्हणजे, ह्या रेखाचित्रातील प्रत्येक बिंदू म्हणजे एक तारा असे समजावे आणि त्या बिंदूचे y–अक्षावरील स्थान त्याची निरपेक्ष प्रत आणि x–अक्षावरील स्थान त्या ताऱ्याचा वर्ग दाखवते. अर्थात चित्रात दाखवल्याप्रमाणे y–अक्षावरील श्रेणी वर कमी होत जाते याचा अर्थ y अक्षावर वर गेले की ताऱ्याचा दीप्तिस्त्रोत वाढतो. तसेच x–अक्षावरील वर्गवारी अशा क्रमाने मांडली आहे की उजवीकडे गेले की ताऱ्याचे पृष्ठभागावरील तपमान कमी होत जाते.

अशातऱ्हेने निरपेक्ष प्रत (दीप्तिस्त्रोत) आणि वर्गवारी (तपमान) प्रमाणे ताऱ्यांची नोंद केलेल्या रेखाचित्राला हर्ट्झस्प्रंग आणि रसेलचे रेखाचित्र (Hertzosprung-Russel Diagram) म्हणतात. अशातऱ्हेची नोंद करायची कल्पना ह्या दोघा खगोलशास्त्रज्ञांना स्वतंत्रपणे सुचली होती. आपण त्या रेखाचित्राचा निर्देश प्रचलित पद्धतीप्रमाणे H-R रेखाचित्र असे थोडक्यात करू. चित्रात दाखवल्याप्रमाणे अधिक तेजस्वी आणि अधिक तपमानाचे तारे डावीकडे वरच्या टोकाला सापडतील तर मंद, कमी तपमानाचे तारे उजवीकडे खालच्या टोकाला दिसतील. चित्रात ही दोन टोके क्रमाने B (निळे तारे) आणि R (लाल तारे) ह्या अक्षरांनी दर्शवली आहेत.

चित्रात B आणि R ह्या टोकांना जोडणाऱ्या पट्ट्यात बहुसंख्य तारे असल्याचे दिसून येते. ह्या पट्ट्याला प्रमुख अनुक्रम (Main Sequence) म्हणतात. त्यानंतर उजवीकडे वरच्या टोकाकडे काही तारे गेलेले दिसतात. हे राक्षसी तारे आहेत. त्याचप्रमाणे पट्ट्याखाली काही तारे आहेत जे श्वेत बटु (White Dwarf) ह्या नावाने ओळखले जातात.

निरनिराळ्या तारकासमूहांतील ताऱ्यांची H–R रेखाचित्रे अशाच प्रकारची असतात. फक्त काहीमध्ये प्रमुख अनुक्रम याहून अधिक ठळक दिसतो तर काहीत राक्षसी ताऱ्यांच्या भागात



चित्र क्रमांक 61 : H–R रेखा चित्र, आपल्या जवळच्या एका तारका समूहाचे. याची माहिती हर्टझ्स्प्रंग-रसेल-रेखाचित्राच्या चर्चेत सविस्तर दिली आहे.

अधिक बिंदूंचा भरणा दिसतो. ह्यावरून आपण काय निष्कर्ष काढायचा ? वास्तविक प्रथमदर्शनी वाटेल त्यापेक्षा अधिक माहिती अशा H–R रेखाचित्रांत दडलेली आहे. तिचा ताऱ्यांची जीवनगाथा जुळवण्यात मोठा उपयोग होतो हे आपण आता ओघाओघाने पाहू.

त्यापूर्वी H–R रेखाचित्रांचा दूर असलेल्या तारका समूहांची अंतरे मोजण्यात कसा उपयोग होतो ते पाहू. समजा अशा एका तारकासमूहाचे अंतर आपल्याला शोधून काढायचे आहे. अशा समूहातील ताऱ्यांची निरपेक्ष प्रत अर्थातच आपल्याला ठाऊक नाही. पण अभिव्यक्त प्रत मोजणे शक्य आहे. पूर्वी दिलेल्या सूत्र (1), (3) आणि (4) वरून आप-

त्याला लहानसे गणित मांडून खालील समीकरण मिळते :

$$M = m - 5\log d + A$$

इथे A हा एक माहीत असलेला स्थिरांक आहे.

अशा तारकासमूहाचे H–R रेखाचित्र काढायचा प्रयत्न केला तर M च्या श्रेणीवर नेमका बिंदू कुठे टाकायचा हे आपल्याला माहीत नाही. तेव्हा असे रेखाचित्र काढले तर ते खाली-वर सरकवण्याची मुभा आहे असे समजावे. अशा परिस्थितीत जर आपण ह्या रेखाचित्राची दुसऱ्या जवळच्या तारकासमूहाच्या रेखाचित्राशी तुलना केली तर दोहोंचे प्रमुख अनुक्रम एकाच ठिकाणी आणता आले पाहिजेत. यावरून आपल्याला लांबच्या तारकासमूहाचे H–R रेखाचित्र नेमके किती खालीवर सरकवले पाहिजे ते कळते. (जर ही रेखाचित्रे पारदर्शक कागदांवर काढली तर एकावर एक ठेवून हा सरवण्याचा प्रयोग करता येतो !)

एवढे केल्यावर आपल्याला M–ची श्रेणी कुठे बसवायची ते कळते आणि मग समीकरण (5) वरून d शोधून काढता येतो. अशाप्रकारे हजारों पार्सेक पर्यंतची अंतरे मोजता येतात.

ताऱ्यांचा जन्म

गेल्या प्रकरणात आपण सूर्यमालेच्या निर्मितीबद्दलच्या काही कल्पनांची चर्चा केली. संघटण पावणाऱ्या एका वायुगोलातून सूर्य आणि ग्रह यांची निर्मिती झाली असावी. ताऱ्यां-बाबतीत सर्व साधारणपणे असेच निर्मितीचित्र रंगवले जाते. फक्त तारे एकटे दुकटे तयार होत नसून त्यांचा समूहच एकदम तयार होतो असे दिसते.

आपल्या आकाशगंगेत H–I ह्या नावाने ओळखले जाणारे हायड्रोजन अणुंच्या वायुने भरलेले विशाल वायुभाग आढळतात. अशा वायुभागात एका लिटरमध्ये शंभर अणु असतात, आणि त्यांचे तपमान 100° K च्या आसपास असते. अशा एका वायुभागाचे वस्तुमान सुमारे शंभर सूर्यापेक्षा जास्त असेल तर त्याचे आपल्या गुरुत्वाकर्षणाखाली आकुंचन सुरू होते. सुमारे 25 वर्षांपूर्वी फ्रेडहॉयेल (Fred Hoyle) यांनी अशी कल्पना मांडली होती की ह्या आकुंचन पावणाऱ्या मेघातली खळबळ वाढत जाते आणि अखेर त्याचे लहान लहान भागात विभक्तीकरण होते. अशा लहान भागाचे आकुंचन पुढे चालूच राहते आणि शेवटी त्यातून तारा जन्माला येतो.

ह्या कल्पनेत एक दोष आहे जो आपण किंचित वेगळ्या स्वरूपात सूर्यमालेच्या निर्मितीच्या चर्चेत पण पाहिला होता. तो दोष असा. मूळ वायुभागात अगदी थोड्या प्रमाणात का असेना पण आपल्या एका अक्षाभोवती फिरण्याची प्रवृत्ती असते. मेघाचे आकुंचन होताना ही प्रवृत्ती वाढत जाते. त्यामुळे शेवटी तयार होणारे तारे जोर जोराने आपल्या अक्षाभोवती फिरताना

दिसले पाहिजेत. प्रत्यक्षात ताऱ्यांमध्ये अक्षाभोवती फिरण्याची प्रवृत्ती फारशी दिसून येत नाही. असे का?

यातून मार्ग काढायला दोन उपाय सुचवण्यात आलेत. एक आपण सूर्यमालेच्या संदर्भात पाहिला. चुंबकीय क्षेत्राच्या मदतीने ताऱ्याचा आपल्या अक्षाभोवती फिरण्याचा वेग कमी करता येतो—मात्र त्याकरता त्या ताऱ्याभोवती ग्रहमाला पाहिजे. म्हणजे चुंबकीय क्षेत्र ताऱ्याची अक्षाभोवती फिरण्याची प्रवृत्ती कमी करून ग्रहांमध्ये ती प्रवृत्ती आणते व त्यामुळे ग्रह ताऱ्यांपासून बऱ्याच अंतरावर त्याच्याभोवती गोल फिरतात. ही कारणमीमांसा बरोबर असेल तर बहुतेक ताऱ्यांभोवती ग्रहमाला असायला पाहिजे. दुसरा उपाय म्हणजे वायुमेघाचे विभक्तीकरण होताना तयार झालेले वायुभाग आपापल्या अक्षाभोवती न फिरता एका अक्षाभोवती सामुहिक रीतीने फिरतात. म्हणजे अशातऱ्हेने तयार झालेला तारकासमूह एका अक्षाभोवती फिरतो. (पहा चित्र क्रमांक–62)

वायुमेघाचे आकुंचन सुरू व्हायला आसपास एखाद्या ताऱ्याचा स्फोट कारणीभूत झाला असावा असा सिद्धांत अलिकडे मांडला जातो. अशा स्फोटामुळे प्रघाती तरंग (Shock Waves) निर्माण होतात आणि हे तरंग आपल्या मार्गात विलक्षण दाब तयार करत जातात. त्यामुळे अशा तरंगांच्या मार्गात असलेल्या वायुमेघाचे आकुंचन सुरू होते.

तारा जन्माला आला असे केव्हा म्हणायचे ? जेव्हा संघटणकारी वायुभाग स्वयंप्रकाशित होतो तेव्हा ! हे घडायला सुरवात होते जेव्हा आकुंचनामुळे उष्णता निर्माण होते आणि ती उष्णता प्रारणाच्या रूपाने बाहेर फेकली जाते. हे घडत असताना ताऱ्यामध्ये दोन परस्पर विरोधी शक्तींचा झगडा चालू असतो. त्यापैकी गुरुत्वाकर्षण ताऱ्यामध्ये आकुंचन घडवून आणू पाहते. त्याउलट ताऱ्यांमध्ये आतील वायूत उष्णतेमुळे आंतरिक दाब निर्माण होतात जे आकुंचन रोखू पाहतात. अशावेळी आकुंचनाचा वेग कमी होतो पण ते चालू राहते. त्यातील तपमान वाढत जाते आणि जर आपण H–R रेखाचित्राकडे पाहिले (पहा चित्र क्रमांक–63) तर तारा H ह्या अक्षराने दाखवलेल्या मार्गाने खाली येतो आणि डावीकडे वळतो. ह्या मार्गाला हायाशी (Hayashi) मार्ग म्हणतात कारण हायाशी नावाच्या खगोलशास्त्रज्ञाने ह्या प्रारंभिक स्थितीचा प्रथम खगोल अभ्यास केला.

ह्याकरता ताऱ्याचे आकुंचन होत असताना दाब कसे निर्माण होतात, आतील उष्णतेमुळे उर्जेचे प्रारण पृष्ठभागातून होण्यापूर्वी ते आतून पृष्ठभागाकडे कसे पोचवले जाते, इत्यादी प्रश्नांचा गणित मांडून अभ्यास केला जातो. प्रथम प्रक्रमण (convection) ह्या स्वरूपात आतली उर्जा बाहेर पोचवली जाते. याचा अर्थ वायुचे लहान तुकडे गरम होऊन खालून (म्हणजे आंतून) वर (म्हणजे बाहेर) जातात. उकळू घातलेल्या पाण्यात ज्याप्रमाणे पाणी गरम होऊन वर जाते तसेच हे घडते. परंतु आकुंचन होत असताना एक अशी परिस्थिती येते की ताऱ्याचा दीप्तिस्त्रोत इतका कमी झालेला असतो की प्रक्रमणाद्वारे ऊर्जा पाठवणे जमत नाही. अशावेळी ताऱ्याच्या अंतरंगाकडून बहिरंगाकडे ऊर्जा प्रारणाच्या स्वरूपात पाठवायला

चित्र क्रमांक 63 : H–R रेखाचित्रात ताऱ्यांत घडणारे बदल दाखवले आहेत. ह्या रेखाचित्रात X–अक्षावर ताऱ्याचे पृष्ठ भागावरचे तपमान (डावीकडे वाढत जाणारे) तर Y अक्षावर दीप्तिस्त्रोत (वर वाढत जाणारा) दाखवले जातात. Log–श्रेणी वापरण्यात येते. वरील चित्रात H हा हायाशी मार्ग, RB हा प्रमुख अनुक्रम आणि त्यावरील वेगवेगळ्या वस्तुमानाचे तारे, लाल राक्षस ताऱ्यांकडे जाणारे मार्ग आणि टिंबांकित रेषेने दर्शवलेला श्वेतबटूंकडे जाणारा मार्ग इत्यादी नमूद केले आहेत.

सुरवात होते. ही परिस्थिती ताऱ्यात महत्वाचे बदल घडवून आणते आणि तारा H ह्या हायाशीमार्गात दाखवल्याप्रमाणे डावीकडे वळतो. ह्या मार्गाने पुढे जाताना आंतरिक तपमान वाढत जातें आणि ताऱ्याच्या अंतरंगात अणुगर्भीय प्रक्रियांना प्रारंभ होतो.

असा हा तारा वयात येतो !

प्रमुख अनुक्रम

सूर्य का प्रकाशतो ? ह्या प्रश्नाने मानवाला अनादिकालापासून भेडसावले आहे. जेव्हा सूर्य हा एक तारा आहे याची जाणीव खगोलशास्त्रज्ञांना झाली तेव्हा अर्थातच हा प्रश्न ताऱ्यांबद्दलही विचारला जावू लागला. गेल्या शतकातल्या दोन प्रमुख शास्त्रज्ञांनी—केल्व्हिन (Kelvin) आणि हेल्महोल्ट्झ (Helmholtz) यांनी हा प्रश्न भौतिकशास्त्राने सोडवायचा प्रयत्न केला. त्यांनी मांडलेला सिद्धांत थोडक्यात असा आहे.

समजा M वस्तुमान आणि R अर्द्व्यास असलेला एक तारा आपण कल्पनाशक्ती वापरून (म्हणजे प्रत्यक्षात नव्हे !) लहान भागात विभागून ते सर्व भाग एकमेकापासून लांब भिरकावण्याचे ठरवले. असे करण्यास आपल्याला गुरुत्वाकर्षणाचा विरोध होईल, कारण गुरुत्वाकर्षणाची प्रवृत्ती ह्या सर्व भागांना जवळ आणण्याची असते. ह्या प्रवृत्तीला न जुमानता जर आपण वरील काल्पनिक उपद्व्याप केला तर आपल्याला ऊर्जा खर्च करावी लागेल. ही ऊर्जा त्या ताऱ्यातील आंतरिक रचनेवर थोडीफार अवलंबून असते. पण ढोबळमानाने ती

$$E = \frac{GM^2}{R} \qquad (6)$$

च्या आसपास असते. याचा अर्थ असा की जर आपल्याला ताऱ्याचे आकारमान वाढवायचे असेल तर आपल्याला गुरुत्वाकर्षणाला विरोध करण्यात ऊर्जा खर्च करावी लागेल. त्याउलट जर ते आकारमान कमी करावयाचे असेल तर ऊर्जा खर्च न करावी लागता ती आपल्याला मिळेल. कारण आकारमान कमी करण्याचे काम गुरुत्वाकर्षणाकडून घडते आणि ह्या केलेल्या कामाची भरपाई म्हणून ऊर्जेची तेवढी भर ताऱ्याच्या साठ्यात पडते. केल्व्हिन आणि हेल्महोल्ट्झ यांची कल्पना अशी की ही ऊर्जेची भर ताऱ्यातून प्रकाशरूपाने बाहेर पडते.

समीकरण (6) मध्ये आपण सूर्याचा अर्धव्यास $R = 7 \times 10^{10}$ से. मी. आणि वस्तुमान $M = 2 \times 10^{33}$ ग्राम अशी मूल्ये घातली तर अशा आकुंचनामुळे सध्याच्या परिस्थितीपर्यंत येऊन पोचण्यात सूर्याला गुरुत्वाकर्षणाकडून मिळालेली ऊर्जा सुमारे

$$E = 4 \times 10^{48} \text{ अर्ग}$$

इतकी भरते. सध्या सूर्याचा दीप्तिस्रोत सेकंदाला सुमारे 4×10^{33} अर्ग इतका आहे. म्हणजे सध्याच्या ऊर्जा वापराच्या दराने सूर्य भूतकालात किती वर्षे प्रकाशत असावा ? सरळ भागाकार करून उत्तर येते सुमारे 10^{15} सेकंद म्हणजे जवळजवळ 3 कोटी वर्षे. ही कालावधी मानवी कालश्रेणीवर बरीच वाटली तरी सूर्यमालेच्या कालश्रेणीवर तोकडीच पडते. गेल्याच

प्रकरणात आपण पाहिले की पृथ्वीचे वयोमान 450 कोटी वर्षे असावे. पृथ्वीवरील जीव सृष्टीला सुरवात व्हायला जरी याच्या निम्म्याने वेळ लागला असे गृहीत धरले तरी निदान 200–300 कोटी वर्षे पूर्वीपासून तरी सूर्याच्या दीप्तिस्त्रोतात सध्यापेक्षा फारसा फरक नसेल. पण आपण पाहिले की इतक्या कालावधीपर्यंत सूर्याला प्रकाशत ठेवायला लागणारी ऊर्जा काही गुरुत्वाकर्षणाकडून मिळणे शक्य नाही !

केल्व्हिन-हेल्महोल्ट्झ सिद्धांत अशातऱ्हेने तोकडा पडल्यावर पुन्हा सूर्यप्रकाशाच्या ऊर्जा-स्त्रोताचे कोडे खगोलशास्त्रज्ञांपुढे उभे राहिले. परंतु त्याचे उत्तर मिळायला वीसावे शतक उजाडावे लागले. ह्या शतकाच्या तिसऱ्या दशकात केंब्रिजचे खगोलशास्त्राचे प्राध्यापक एडिंगटन (Eddington) यांनी एक नवीन कल्पना मांडली. ती समजून घ्यायला आपण प्रथम ताऱ्यांच्या अंतरंगाचा अभ्यास कसा केला जातो याची थोडक्यात माहिती करून घेऊ.

'तारा का प्रकाशतो ?' ह्या प्रश्नाप्रमाणेच आणखी एक महत्वाचा प्रश्न आहे : 'ताऱ्याच्या आकारमानाचे स्थैर्य कसे टिकून राहते ?' अशी कल्पना करा की सूर्याच्या अंतरंगात गुरुत्वाकर्षणाखेरीज आणखी कसलेही बळ काम करत नाही. अशा परिस्थितीत सूर्याचे आकुंचन होत राहील. ते किती वेगाने होईल ? याचे उत्तर आहे : सूर्याला सध्याच्या 7×10^{10} से. मी. अर्धव्यास असलेल्या अवस्थेतून बिंदूवत् व्हायला अर्ध्या तासाहून कमी वेळ लागेल !

हे आश्चर्यकारक विधान गणिताने सिद्ध करता येते, आणि त्यावरून सूर्याच्या अंतरंगातील गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रबलतेची थोडी कल्पना येते. अर्थात् ज्या अर्थी सूर्य कोट्यावधी वर्षे आपला आकार टिकवून आहे त्याअर्थी त्याच्या अंतरंगात इतर गुरुत्वाकर्षण-विरोधी बळ काम करत असणार. ते बळ कोणते ?

कुठल्याही वस्तूत, मग ती वायुरूप असो, द्रवरूप असो की घनरूप असो, आंतरिक दाब असतात. सूर्याचे पृष्ठभागाचे तपमानच 6000° k च्या जवळपास असल्याने त्यातील पदार्थ वायुरूप अवस्थेत असणार. वायुचा दाब त्याच्या घनतेशी आणि तपमानाशी संबंधित असतो. याचे सूत्र आहे :

$$P_g = \frac{\mathscr{R}}{\rho} \rho T$$

यात P_g = वायुचा दाब, ρ = घनता, T = तपमान, μ = वायुतील कणांचे (सरासरी) हायड्रोजन अणुच्या तुलनेत वस्तुमान. $\mathscr{R}$ हा एक 'वायुस्थिरांक' म्हणून ओळखला जातो आणि रासायनिक प्रयोगांनी त्याचे मूल्य ठरवण्यात आले आहे. थोडक्यात सांगायचे म्हणजे जर आपल्याला ρ आणि T माहीत असतील तर p_g समजतो.

ह्याशिवाय ताऱ्यांच्या अंतरंगात प्रारण असते आणि त्या प्रारणाचा दाब त्याच्या तपमाना-प्रमाणे वाढतो. त्याचा नियम आहे

$$p_r = \frac{1}{3} a T^4$$

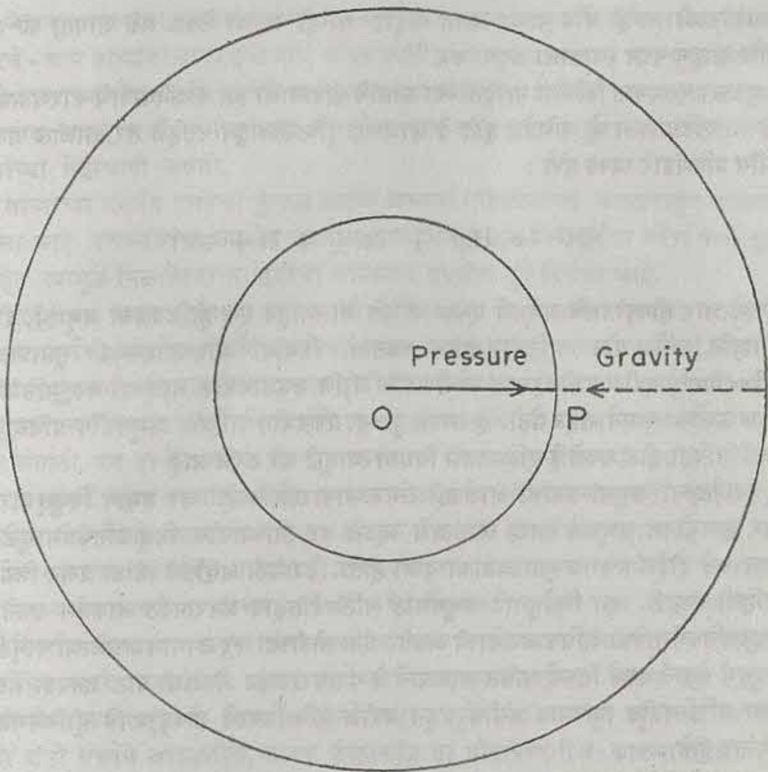
इथे T हे प्रारणाचे तपमान आणि a हा एक माहीत असलेला स्थिरांक आहे. p_g आणि p_r यांची बेरीज केली की ताऱ्यातला एकंदर दाब कळतो :

$$p = p_g + p_r$$

हा दाब ताऱ्यात सर्वत्र सारखा नसतो. चित्र क्रमांक–64 मध्ये गोल ताऱ्याचे काल्पनिक चित्र दाखविले आहे. त्यांत दाब केंद्रभागी सर्वात जास्त आणि पृष्ठभागावर सर्वात कमी (= जवळजवळ शून्यच !) दाखवला आहे. याचे कारण आपण जसे जसे ताऱ्याच्या अंतरंगात शिरतो तसा तसा आतील दाब वाढत्या गुरुत्वाकर्षणाला तोंड देताना वाढत जातो. आपण जर पाण्यात खोल शिरलो तर पाण्याचा दाब पृष्ठभागापेक्षा जास्त असतो—कारण आतील दाबाला पाण्याचे वजन पेलावे लागते. जसे जसे आपण आणखी खोल जातो तसा हा पाण्याचा भार वाढतो आणि म्हणून दाबही वाढतो. चित्रात दाखवल्याप्रमाणे P ह्या आतील बिंदू जवळील दाब 'वरचे' म्हणजे P पलिकडल्या भागाचे वजन पेलायला समर्थ पाहिजे. अशी कल्पना करा की ताऱ्याच्या केंद्रावर (0 वर) केंद्रीत असलेल्या OP अर्धव्यासाच्या गोलाच्या पृष्ठभागाला ताऱ्याच्या बाहेरील भागाचे गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे आकुंचन रोखून धरायचे आहे. जसा P हा बिंदू केंद्राकडे, 0 कडे, जाईल तसा हा दाब वाढत जाणार, कारण बाहेरील भागाचा भार वाढणार. ताऱ्याचे संतुलन राखण्यासाठी ह्या दोन परस्परविरोधी बळांचा समतोल ताऱ्याच्या अंतरंगात काटेकोरपणे संभाळला गेला पाहिजे. हे एका गणिती समीकरणाद्वारे दाखवता येते.

त्यानंतरची महत्वाची माहिती म्हणजे ताऱ्याच्या अंतरंगांत–केंद्रस्थानी–जर ऊर्जा तयार होत असेल तर ती बाहेर कशी पडते ? आतून बाहेर पडणाऱ्या शक्तीला वाटेत ताऱ्यातील पदार्थ शोषून घेऊ पाहतात. अर्थात अशा शोषणाने अंतरंगात तपमान वाढते आणि मुळात निघालेल्या ऊर्जेचा एक अल्पांशच बाहेर पडू शकतो. समतोल स्थितीत असलेल्या ताऱ्यात ही ऊर्जा बाहेर जाता जाता कशी शोषली जाते ह्याचा संबंध आंतून बाहेर पर्यंत उतरत्या तपमानाशी एका समीकरणाद्वारे लावता येतो.

एडिंगटनने अशी समीकरणे मांडून सूर्यासारखा तारा, किंवा इतर तारे, आपल्या अंतरंगात किती तप्त झाले असतील हे गणिताने मांडून दाखवले. ताऱ्यांच्या केंद्रभागातील तपमान एक ते चार कोटी अंशापर्यंत असू शकेल असे निदान त्याने केले. आणि त्यांतून एक महत्वाचा तर्क त्याने केला तो असा. इतक्या तप्त ठिकाणी अणुगर्भातल्या शक्ती प्रकट होऊन त्यांतून ऊर्जेचा लाभ ताऱ्याला मिळू शकेल.



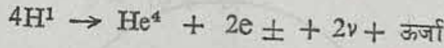
चित्र क्रमांक 64: ताऱ्याच्या अंतरंगात कुठल्याही ठिकाणी दोन परस्पर विरोधी शक्ती काम करत असतात. वरील चित्रात P वर गुरुत्वाकर्षणाची शक्ती आंतल्या दिशेने तर दाबजनित शक्ती बाहेरच्या दिशेने काम करताना दाखवल्या आहेत. ह्या दोन शक्तीत संतुलन असणे आवश्यक आहे.

एडिंगटनने हा निष्कर्ष पाच दशकांहून अधिक काळापूर्वी काढला. त्यावेळी अणुशास्त्र बाल्यावस्थेत होते. अणुगर्भ कसा असतो याचे शास्त्रज्ञांचे ज्ञान फार उथळ स्वरूपाचे होते. त्यामुळे अणुशास्त्रज्ञांनी एडिंगटनच्या तर्काला सहानुभूती दाखवली नाही. परंतु एडिंगटनचा आपल्या समीकरणांवर आणि त्यांतून काढलेल्या निष्कर्षांवर ठाम विश्वास होता. म्हणून त्याने असे विधान केले :

"ताऱ्यांचे तपमान अशा प्रक्रियेसाठी पाहिजे तितके उच्च नाही असे विधान करणाऱ्या

टीकाकाराशी आम्ही वाद घालत बसत नाही; आम्ही त्याला केवळ असे सागतो की जा आणि ह्याहून गरम स्थानाचा तपास कर."[1]

दुसऱ्या प्रकरणात दिलेल्या माहितीच्या आधारे आपल्याला ह्या वादविवादाचे कारण समजू शकेल. एडिंगटनला जे अभिप्रेत होते ते आजच्या दृष्टिकोनातून पाहिले तर खालील अणुगर्भीय प्रक्रियेद्वारे व्यक्त होते :



$$4H^1 \rightarrow He^4 + 2e\pm + 2\nu + \text{ऊर्जा}$$

म्हणजे चार हायड्रोजनचे अणुगर्भ एकत्र आणले की त्यांतून एक हीलियमचा अणुगर्भ, दोन पॉझिट्रॉन आणि दोन न्यूट्रिनो बाहेर पडतात. शिवाय, आइन्स्टाइनच्या सूत्राप्रमाणे ($E = mc^2$) वरील समीकरणात डावीकडील आणि उजवीकडील वस्तूंच्या वस्तूमानातला फरक ऊर्जेच्या रूपाने बाहेर येतो. हे आपण दुसऱ्या प्रकरणात पाहिले. अणुगर्भीय प्रक्रियांतून ऊर्जा निर्मिती होऊ शकते हे एडिंगटनचे विधान त्यामुळे खरे ठरले आहे.

त्यावेळच्या अणुशास्त्रज्ञांचा आक्षेपही समजण्यासारखा आहे. जर समान विद्युत्‌भाराचे चार हायड्रोजन अणुगर्भ एकत्र आणायचे म्हटले तर त्यांच्यातील विद्युत्प्रतिकर्षणामुळे ते शक्य कसे होईल असा अणुशास्त्रज्ञांचा दावा होता. त्यावेळी अर्थातच त्यांना प्रखर क्रियेची माहिती नव्हती. ह्या क्रियेनुसार अणुगर्भात अतिशय लहान अंतरापर्यंत आकर्षण असते जे विद्युत्प्रतिकर्षणापेक्षा अधिक बलशाली असते. एक कोटीच्या वर तपमान असलेल्या वायूतील अणुगर्भ वेगाने इकडे तिकडे धावत असल्याने ते परस्परांजवळ येण्याची दाट शक्यता असते. अशा परिस्थितीत त्यांच्यात संयोग घडून वरील प्रक्रियेप्रमाणे हायड्रोजनचे हीलियममध्ये रूपांतर होते.

हान्स बेथॉ (Hans Bethe) ह्या शास्त्रज्ञाने 1939 मध्ये ह्या सर्व माहितीच्या आधारे सूर्याचे 'मॉडेल' तयार केले. त्यांत एडिंगटनच्या समीकरणाशिवाय, अणुगर्भीय प्रक्रियांमुळे ऊर्जानिर्मिती कशी होते याचे पण समीकरण मांडले होते. अशातऱ्हेने सूर्यतेजाचे रहस्य उलगडले.

हायड्रोजन बॉम्ब मध्ये ऊर्जेची स्फोटक स्वरूपात निर्मिती होते ती ह्याच प्रक्रियेतून. ही प्रक्रिया जर संयमित रुपाने घडवून अणता आली तर मानव संस्कृती पुढे असलेला ऊर्जेचा प्रश्न सुटेल, आणि ह्यासाठी पृथ्वीवरील अनेक प्रयोगशाळात प्रयत्न चालू आहेत. मात्र अशा प्रकारे ऊर्जा निर्मिती होऊ शकते हे प्रथम खगोल शास्त्रात निदर्शनास आणले गेले हे येथे नमूद करणे आवश्यक आहे. खगोल शास्त्रातील संशोधन हे पृथ्वीवरील मावनजीवनाशी बिलकूल असंबद्ध असते अशा आरोपाला ह्या उदाहरणाने प्रत्युत्तर मिळते.

---

1 A.S. Eddington यांच्या 'The Internal Constitution of Stars' ह्या पुस्तकाच्या पहिल्या आवृत्तीत (Cambridge University Press, 1926) पान 301 पहा.

जे अजून मानवाला साध्य झाले नाही ते – संयमित स्वरूपात अणुगर्भीय प्रक्रिया घडवून आणण्याचे - काम ताऱ्यांना साध्य होते याचे कारण त्यांचे प्रचंड गुरुत्वाकर्षण ! ह्या गुरुत्वाकर्षणामुळे ताऱ्यांच्या केंद्रस्थानी असलेले प्रचंड दाब ह्या प्रक्रियेच्या स्फोटक रूपावर आळा घालू शकतात. उदाहरणार्थ, पृथ्वीतलावर जो हवेचा दाब आहे त्याच्या सुमारे कोटी-पटीने दाब सूर्याच्या केंद्रस्थानी असतो.

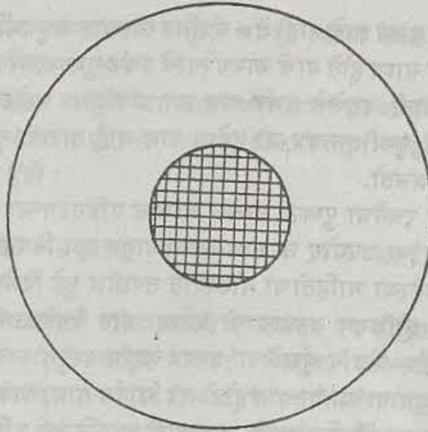
ताऱ्यांच्या अंतर्गत रचनेचा पुष्कळ सखोल अभ्यास एडिंगटनच्या काळापासून आजपर्यंत झाला आहे. गणकयंत्रांचा उपयोग उपलब्ध झाल्यापासून ह्या विषयातील बरेच प्रश्न सुटले आहेत. त्यामुळे मिळालेल्या माहितीचा थोडक्यात तपशील पुढे दिलेला आहे.

हायड्रोजन पासून हीलियम बनवण्याची प्रक्रिया दोन वेगवेगळ्या मार्गांनी घडून येऊ शकते. त्यापैकी 'प्रोटॉन-प्रोटॉन श्रृंखलेचा' प्रकार लहान वस्तुमानाच्या म्हणजे 1.5M⊙ ते 2 M⊙हून कमी वस्तुमानाच्या ताऱ्यांत होतो तर 'कार्बन-नायट्रोजन चक्र' ह्या मार्गाने अधिक वस्तुमानाच्या ताऱ्यांत ऊर्जानिर्मिती होते. कुठल्याही मार्गाने ह्या प्रक्रिया घडून यायला बराच वेळ लागतो. पण हा वेळ लहान ताऱ्यांत जास्त तर मोठ्या ताऱ्यांत कमी असतो. याचे एक कारण म्हणजे लहान ताऱ्यांतले केंद्रीय तपमान मोठ्या ताऱ्यांपेक्षा कमी असते. सूर्याचे केंद्रीय तपमान 1.3 कोटी अंश इतके आहे तर त्याच्या अंतरंगात ही प्रक्रिया दहा अब्ज वर्षे चालू राहते. त्या उलट 20 M⊙ ताऱ्यांत ही प्रक्रिया घडून यायला दहा लाख वर्षे पुरी पडतात.

जर आता आपण ताऱ्यांच्या H–R रेखाचित्राकडे पाहिले तर साहजिकच ज्या परिस्थितीत ताऱ्याचा आयुष्यातील सर्वाधिक काल जातो त्या परिस्थितीत आपल्याला सर्वाधिक तारे सापडतील. (जन संख्येच्या उदाहरणाशी तुलना करून पहा : 2 फूट उंची पेक्षा कमी उंचीची माणसे–म्हणजे लहान मुले !–5–6 फूट उंचीच्या माणसांपेक्षा कमी संख्येने आढळतील, कारण शैशवकाळ हा प्रौढावस्थेतील कालमानापेक्षा कमी असतो.) ज्यावेळी तारे हायड्रोजनचे हीलियममध्ये रूपांतर करत असतात त्यावेळी ते प्रमुख अनुक्रमावर असतात. चित्र क्रमांक 62 मध्ये प्रमुख अनुक्रमावर R पासून B ह्या टोकाकडे कसे वाढत्या वस्तुमानाचे तारे सापडतात हे दाखवले आहे.

लाल राक्षस तारे

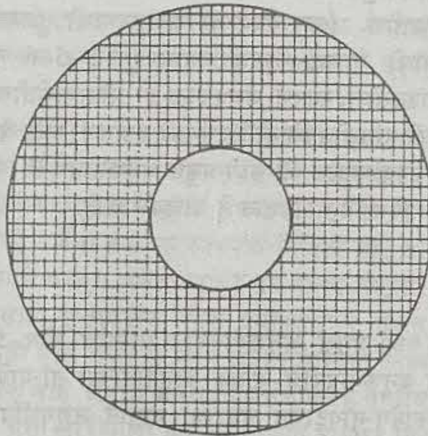
चित्र क्रमांक 65 मध्ये प्रमुख अनुक्रमावरील ताऱ्यांचे दोन प्रकार दाखवले आहेत. पहिल्या भागात ह्या अनुक्रमावरील अधिक वस्तुमानाच्या ताऱ्याचे अंतरंग दाखवले आहे. ह्याच्या केंद्रस्थानी कार्बन-नायट्रोजन चक्राच्या मार्गाने अणुगर्भीय प्रक्रिया चालू असते हे पूर्वीच सांगितले आहे. अशा ताऱ्याच्या अंतर्गत रचनेचा अभ्यास करताना असे दिसून येते की इथे केंद्रातून निघालेली ऊर्जा बाहेर जाताना प्रथम प्रक्रमणाच्या मार्गाने जाते आणि मग बाहेरच्या भागात प्रारणाच्या मार्गाने जाते. अशा ताऱ्यांचा गाभा प्रक्रमणाचा तर अन्वालोप



(i)

चित्र क्रमांक 65: प्रमुख अनुक्रमावरील अधिक आणि कमी वस्तुमानाच्या ताऱ्यां-मधला अंतर्गत फरक वरील चित्रात दाखवला आहे.

(i) मध्ये दाखवलेल्या अधिक वस्तुमानाच्या ताऱ्यातील उर्जा गाभ्यात प्रक्रमणाच्या स्वरूपात तर अन्वालोपात प्रारणाच्यारूपात आंतून बाहेर जाते.



(ii)

(ii) मध्य दाखवलेल्या कमी वस्तुमानाच्या ताऱ्यात याच्या उलटा प्रकार असतो. सूर्य ह्या दुसऱ्या वर्गात बसतो.

(Envelope) प्रारणाचा असतो. त्या उलट चित्राच्या दुसऱ्या भागात लहान वस्तुमानाच्या ताऱ्यात प्रोटॉन-प्रोटॉन श्रृंखलेतून ऊर्जानिर्मिती होते आणि अशा ताऱ्यांचा गाभा प्रारणाचा व अन्वालोप प्रक्रमणाचा असतो.

जसे जसे गाभ्यातील हायड्रोजनचे रुपांतर हीलियम मध्ये होत जाते तसा गाभ्याचा अंतर्गत संयोग (Composition) बदलतो आणि त्याच्या गाभ्याच्या आणि त्यामुळे अन्वालोपाच्या संतुलनावर मोठा परिणाम होतो. एकंदर समीकरणांवर दृष्टी टाकता असे दिसून येते की परत समतोल साधण्यासाठी अन्वालोपात वाढ होऊ लागते तर गाभ्याचे आकुंचन होते. अन्वालोपात वाढ झाल्याने त्याच्या बहिर्भागाचे तपमान ढासळते. तपमान कमी झाल्याने तारा लालसर दिसायला लागतो. अशा ताऱ्याला लाल राक्षस तारा (Red giant star) म्हणतात. सूर्य सुद्धा पुढे राक्षस तारा होणार यांत शंका नाहीं. त्याचे आकारमान वाढत इतके मोठे होईल की तो बुध आणि शुक्र ह्या ग्रहांसकट पृथ्वीला देखील गिळंकृत करण्याची शक्यता आहे. अर्थात हे प्रचंड बदल सूर्यात घडून यायला अजून काही अब्ज वर्षे अवकाश आहे. !

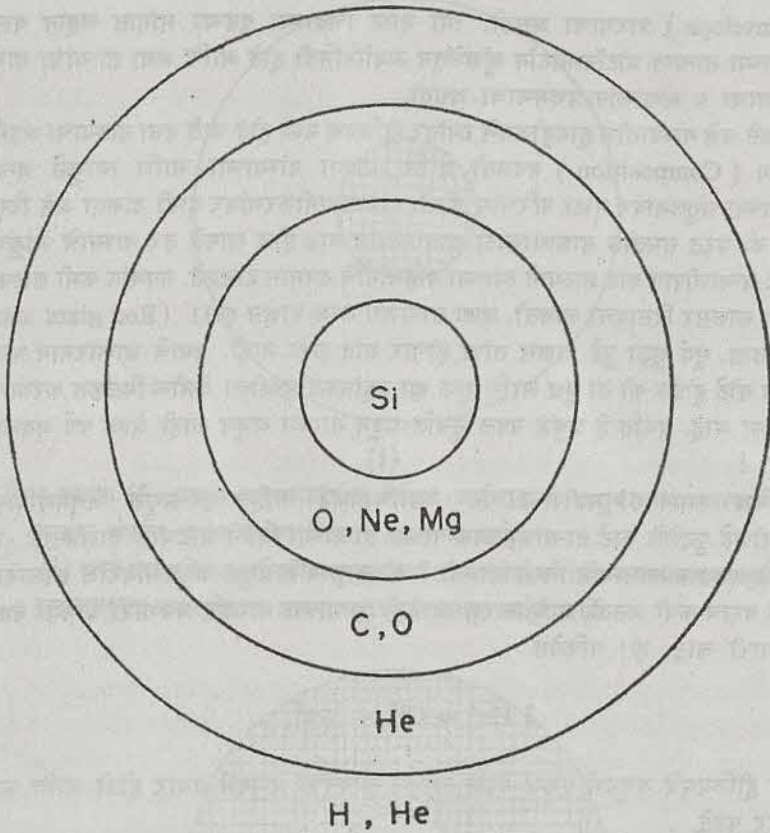
चित्र क्रमांक 63 मधील H–R रेखाचित्राकडे पाहिले तर प्रमुख अनुक्रमापासून उजवीकडे फुटलेले फाटे ताऱ्यांची लाल राक्षस ताऱ्यांच्या दिशेने वाटचाल दाखवतात. ह्या वाटेने जाण्यास कालावधि किती लागतो ? तो कालावधि प्रमुख अनुक्रमावरील कालावधिपेक्षा बराच कमी असतो. याचे कारण ह्यावेळी ताऱ्याच्या गाभ्यात घडणारी प्रक्रिया वेगाने घडणारी आहे. ह्या प्रक्रियेत

$$3\ He^4 \rightarrow C^{12} + \text{ऊर्जा},$$

तीन हीलियमचे अणुगर्भ एकत्र येऊन त्यांतून कार्बनचा अणुगर्भ तयार होतो आणि ऊर्जा बाहेर पडते.

ही प्रक्रिया घडून यायला तपमान पहिल्यापेक्षा जास्त पाहिजे. हे वाढलेले तपमान गाभ्यात कशामुळे तयार होते ? जेव्हा हायड्रोजन खलास होते तेव्हा अर्थातच गाभ्यात हायड्रोजनच्या रुपांतरामुळे मिळणारी उर्जा मिळेनाशी होते. अशावेळी गाभ्यातील दाब कमी होतात आणि त्याच्यातल्या गुरुत्वाकर्षणांमुळे गाभ्याचे आकुंचन होऊ लागते. अशा आकुंचनामुळे गाभ्यातले तपमान वाढायला सुरुवात होते. हे तपमान वीस कोटीच्या घरात गेले की वरील हीलियमच्या रूपांतराला सुरुवात होते.

हीच कथा पुढे चालू राहते ! हीलियम संपून गेले की ऊर्जेचा पुरवठा तात्पुरता थंडावतो आणि परत गाभ्याचे आकुंचन होऊन तपमान वाढते. वाढत्या तपमानाप्रमाणे नवीन प्रक्रिया घडू लागतात. कार्बनचे ऑक्सिजन, ऑक्सिजनचे निऑन पासून सिलिकन मग सलफर इत्यादी मोठे मोठे अणुगर्भ तयार होतात. यांची चर्चा आपण पुढे करू. थोडक्यात असे म्हणता येईल



चित्र क्रमांक 66 : 20M⊙ ताऱ्याच्या अंतरंगात अणुगर्भीय प्रक्रियांमुळे कसे फरक दिसून येतात हे वरील चित्रात दाखवले आहे. गाभ्याच्या सर्वात तप्त अंतरंगात सिलिकन (Si), नंतरच्या भागात ऑक्सिजन (O), निऑन (Nc) आणि मॅगनेशियम (Mg), त्या बाहेर कार्बन (C) आणि ऑक्सिजन (O), नंतर हीलियम (He) आणि शेवटी गाभ्याबाहेर लांबवर पसरलेल्या भागात हायड्रोजन (H) व हीलियम (Hc) असतात. (गोलांचे आकार मापाबरहुकूम नाहीत.)

की जसे जसे आपण ताऱ्याच्या आतून बाहेर जाऊ तसे आपल्याला उतरत्या तपमानाप्रमाणे वेगवेगळ्या अणुगर्भीय प्रक्रिया घडताना दिसून येतील. चित्र-क्रमांक–66 मध्ये 20 M. वस्तुमानाच्या ताऱ्यात आत पासून बाहेर पर्यंत कसे वेगवेगळे अणुगर्भ असतील याची कल्पना

घडू लागतातः कार्बनचे ऑक्सिजन, ऑक्सिजनचे निऑन, निऑन पासून सिलिकन मग सल्फर इत्यादी मोठे मोठे अणुगर्भ तयार होतात. यांची चर्चा आपण पुढे करू. थोडक्यात असे म्हणता येईल की जसे जसे आपण ताऱ्याच्या आतून बाहेर जाऊ तसे आपल्याला उत-रत्या तपमानाप्रमाणे वेगवेगळ्या अनुगर्भीय प्रक्रिया घडताना दिसून येतील. चित्र क्रमांक 66 मध्ये 20 $M_\odot$ वस्तुमानाच्या ताऱ्यात आत पासून बाहेर पर्यंत कसे वेगवेगळे अणुगर्भ असतील याची कल्पना दिली आहे.

पण हा प्रकार कुठपर्यंत चालू राहील ? राक्षस ताऱ्याचे भवितव्य काय असणार ? या बाबत सध्या प्रचलित असलेल्या काही विचारधारा पुढे सादर केल्या आहेत.

महास्फोटक तारे

चित्र - क्रमांक - 67 मधील छायाचित्रात क्रॅबनेब्युला (Crab Nebula) दाखवला आहे. एके काळी घडलेल्या प्रचंड स्फोटाचे अवशेष अजून प्रकाशत असलेले दिसतात. ऐति-हासिक दृष्टया पाहिले तर ह्या स्फोटाची नोंद चिनी आणि जपानी ज्योतिषांनी केलेली दिसते आणि त्यावरून त्यांनी हा स्फोट 4 जुलै 1054 साली पाहिला. त्यांना आकाशात एकदम एक प्रकाशमान तारा दिसला जो दिवसाढवळ्या सुद्धा काही दिवस दिसू लागला. पुढे त्यातील प्रकाश कमी होत गेला आणि आता तर फोटोग्राफीचा आधार घेऊनच वरील चित्रात आपल्याला त्याची माहिती मिळते.

अशा प्रचंड स्फोटात नष्ट होणाऱ्या ताऱ्यांना महास्फोटक तारे (Supernovae) म्हणतात. क्रॅब नंतर आपल्या आकाशगंगेत फक्त दोनच स्फोट घडलेले दिसून आले. अर्थात शेजारच्या तारकाविश्वात असे तारे खगोल शास्त्रज्ञांना वेळोवेळी पहायला मिळालेत पण क्रॅब इतका 'दर्शनीय' स्फोट अजून पहायला मिळाला नाही.

महास्फोटक तारे कसे तयार होतात ? किंवा अधिक समर्पक प्रश्न म्हणजे कुठल्या प्रकारच्या ताऱ्याचा असा स्फोट होण्याची शक्यता असते ?

आपण नुकतेच पाहिले की ताऱ्यांत घडणाऱ्या बदलांनुसार त्याचा गाभा लहान लहान होत जातो तर त्या उलट त्याचा अन्वालोप पसरत जातो. ही परिस्थिती सूर्यापेक्षा अत्यधिक वस्तुमानाच्या ताऱ्यांच्या बाबतीत स्फोटक ठरते. उदाहरणार्थ चित्र क्रमांक - 66 मध्ये दाखवलेल्या 20 $M_\odot$ वस्तुमानाच्या ताऱ्याचा संपूर्ण समतोल टिकवून धरणे अशक्यप्राय होऊन जाते. अशा परिस्थितीत गाभ्यातल्या जवळ जवळ 10 अब्ज अंश तपमानातून निर्माण झालेल्या प्रचंड दाबातून स्फोट होतो आणि अन्वालोप अंतराळात फेकला जातो. ह्या स्फोटातून ऊर्जे खेरीज विश्वकिरणे, न्यूट्रीनो, प्रघाती तरंग पण मोठ्या प्रमाणात बाहेर पडतात. विश्व किरणाच्या निर्मितीचा प्रश्न जेव्हा खगोल शास्त्रज्ञांपुढे आला तेव्हा त्याला महास्फोटक तारे

हे अशासाठी उपयोगी पडले.

स्फोटाची ऊर्जा काही काळ प्रचंड असते पण नंतर तिचा ऱ्हास होतो. त्यामुळे क्रॅब येथील तारा काही 'दिवस' स्पष्ट दिसला होता. असे महास्फोटक तारे 30–300 वर्षातून एकदा आपल्या आकाशगंगेत दिसून येत असावेत असा शास्त्रज्ञांचा अंदाज आहे परंतु अजून यावर निश्चितपणे सांगता येत नाहीं.

आता आपण गाभ्याचे काय होते ते पाहू.

न्यूट्रॉन तारे आणि श्वेत बटु

महास्फोटक ताऱ्याचा अवशेष असलेला गाभा अतिशय तप्त परिस्थितीत असतो आणि त्याची घनता ही जास्त असते. अशा अवशेषाचे पुढे काय होईल ? जर त्याच्यात गुरुत्वाकर्षणाच्या बळाला तोंड देऊ शकणारे दाब निर्माण होऊ शकले नाहींत तर त्याचे सतत आकुंचन होत जाऊन शेवटी तो दुसऱ्या प्रकरणात चर्चिलेल्या कृष्णविवराच्या परिस्थितीत जाऊन पोचेल. ह्या परिस्थितीवर आपण पुढे चर्चा करू. सध्या, ही परिस्थिती येऊ नये या करता कोणत्या पळवाटा ताऱ्याला (म्हणजे ताऱ्याच्या अवशेषाला!) उपलब्ध आहेत ते पाहूया.

आतापर्यंत आंतरिक दाब निर्माण करायला तारा अणुगर्भीय प्रक्रियांचा आश्रय घेत आला. दोन अणुगर्भांचा संयोग घडवून आणून मोठा अणुगर्भ तयार करून त्यांत कमी झालेल्या वस्तुमानाइतकी ऊर्जा वसूल करून ताऱ्यातील तपमान आणि दाब मोठ्या पातळीवर ठेवण्यात येत होते. परंतु अणुगर्भांचे शास्त्र ह्या प्रकारावर ही काही मर्यादा घालते. अणुगर्भ फार मोठे झाले तर ते संतुलित स्थितीत राहू शकत नाहींत. कारण अणुगर्भातील न्यूट्रॉन व प्रोटॉन यांना 'बांधून ठेवणारी' आकर्षक तीव्र प्रक्रिया फार थोड्या अंतरापर्यंत आपला अधिकार गाजवू शकते. अणुगर्भ फार मोठा झाला तर ही बांधणारी शक्ती कमी पडायला लागते. त्या दृष्टीने लोखंड, कोबाल्ट आणि निकल ह्या अणुगर्भांपलिकडे अशा तऱ्हेने अणुगर्भांच्या संयोगाने मजल मारता येत नाही. याच कारणामुळे उर्जा वसूलीचे काम ही ह्या अणुगर्भांपलिकडे जाऊन करता येत नाही. त्यामुळे अणुगर्भीय प्रक्रियांद्वारे ऊर्जा निर्मिती आणि त्यातून आंतरिकदाब निर्माण करणे गाभ्याला शक्य नसते.

अशा वेळी एक वेगळाच उपाय गाभ्याच्या मदतीला येतो. त्याच्या मुळाशी आहे गाभ्याची विलक्षण मोठी घनता. ही घनता 10^{17} ग्राम प्रति लिटर (म्हणजे पाण्याच्या कोटि कोटि पटीने जास्त !) इतकी असू शकते. अशा परिस्थितीत ताऱ्यातले प्रोटॉन आणि इलेक्ट्रॉन एकत्र दाबले जाऊन त्यांतून न्यूट्रॉन तयार होतो.

$$e + p \leftarrow n + \nu$$

वास्तविक मोकळ्या स्थितीत न्यूट्रॉन फार वेळ टिकत नाहीं (पहा : प्रकरण : 2) परंतु ह्या अतिशय घनतेच्या परिस्थितीत न्यूट्रॉनला स्थैर्य प्राप्त होतें. त्यामुळे अशा ताऱ्यांना **न्यूट्रॉन तारे** असे संबोधण्यात येतें.

अशा न्यूट्रॉननी बनलेल्या पदार्थात पुंजवादाच्या एका नियमामुळे दाब निर्माण होतो. तो नियम 'पाउलीचा सिद्धांत' म्हणून ओळखला जातो. पाउली (Pauli) ह्या शास्त्रज्ञानें असे दाखवून दिले कीं ज्या मूलकणांचे परिवलन (Spin) एका ठराविक आणविक एककात $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ ......अशा प्रकारचे असते तसे एकाहून जास्त मूलकण सारख्याच परिस्थितीतले एकत्र असू शकत नाहीत.* न्यूट्रॉनचे परिवलन $\frac{1}{2}$ असल्याने त्याला हा नियम लागू पडतो. त्यामुळे कुठल्याही ठराविक घनफळाच्या जागेत किती न्यूट्रॉन बसवता येतील याला पाउलीचा सिद्धांत एक मर्यादा घालतो. आणि अशा मर्यादे पलिकडे न्यूट्रॉन कोंबायला साहजिकच त्या जागेतील विद्यमान न्यूट्रॉन विरोध करतात. अशा विरोधा-तून हा दाब निर्माण होतो. ह्या दाबाला अधःपतित पुंजवादात्मक दाब (Degenerate quantum pressure) म्हणतात.

न्यूट्रॉन ताऱ्यात अशा दाबामुळे गुरुत्वाकर्षणाच्या आकुंचनात्मक प्रवृत्तीला विरोध निर्माण होऊन ताऱ्याचा समतोल राखला जातो. मात्र ह्यावर पण काहीं बंधने आहेत. ह्या विषयातले गणित असे सांगते कीं फारतर $2M_\odot$ ते $3M_\odot$ इतक्या वस्तुमानापर्यंतच हा पुंजवादात्मक दाब गुरुत्वाकर्षणाला यशस्वीरीत्या तोंड देऊ शकतो. (हीं वस्तुमानाचीं सीमा अजून सर्व-मान्य रूपाने निश्चित व्हायची आहे परंतु ती $3M_\odot$ पेक्षा जास्त नसावी असे बहुतेक तज्ञांना वाटते).

न्यूट्रॉन ताऱ्यांतील दाबाप्रमाणेच श्वेत बटु (White Dwarf) ह्या ताऱ्यांत देखील अधःपतित दाब असतो. मात्र तो पाउलीचा सिद्धांत इलेक्ट्रॉन ना लावल्यामुळे निर्माण होतो. इलेक्ट्रॉनचे परिवलन देखील $\frac{1}{2}$ असतें. आणि एका ठराविक घनतेच्या सीमेपलिकडे गेल्यावर हा इलेक्ट्रॉन मधला दाब जाणवू लागतो. वास्तविक न्यूट्रॉन ताऱ्यांचा शोध लागण्या-पूर्वी, तीस वर्षे आधीच, इलेक्ट्रॉनच्या पुंजवादात्मक दाबामुळे श्वेत बटुंचे संतुलन राखले जाते हे खगोल शास्त्रज्ञांनीं दाखवून दिले होते. चंद्रशेखर (Chandrasekhar) नावाच्या भारतीय खगोल शास्त्रज्ञाने गणित मांडून सिद्ध केले कीं $1.44M_\odot$ ह्या सीमेपर्यंत वस्तुमान असलेल्या ताऱ्यांचे श्वेत बटु या परिस्थितीत अस्तित्व राहू शकते. ह्याहून जास्त वस्तुमानाचे गुरुत्वाकर्षण इलेक्ट्रॉनच्या दाबाला पेलत नाहीं. हीं वस्तुमानाचीं मर्यादा 'चंद्रशेखरची सीमा'

* साधारणपणे मूल कण कुठल्या परिस्थितीत आहे हे त्याच्या ऊर्जा, संवेग (Momentum) कोनीय संवेग (Angular Momentum), परिवलन इत्यादींच्या मूल्यानी ठरवण्यात येतें. ह्या पैकीं परिवलन 0, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$, ...अशी मूल्येंच घेऊ शकतो.

(Chandrasekhar Limit) म्हणून ओळखली जाते.

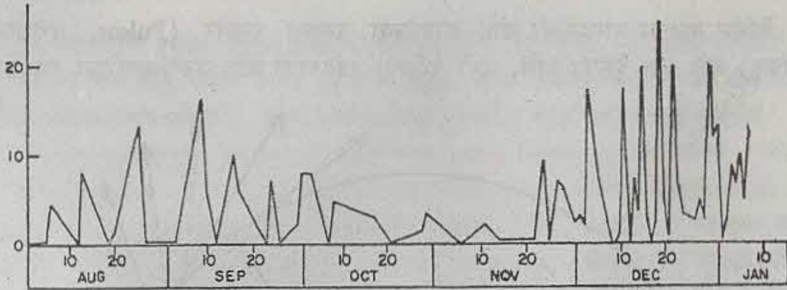
श्वेत बटु कसे तयार होतात ? एक प्रकार म्हणजे साधारण 5M$_\odot$ वस्तुमानापर्यंतचे तारे महास्फोटक परिस्थितीत आपले बाहेरचे अन्वालोप फेकून देतात आणि त्यांचा गाभा (त्याचे वस्तुमान साधारण 1.4M$_\odot$ पेक्षा कमी असते) श्वेत बटूच्या रूपाने पुढील काल-क्रमणा करतो. म्हणजे अधिक वस्तुमानाच्या ताऱ्यातून जसा शेवटी न्यूट्रॉन तारा हा अवशेष म्हणून राहतो तसा कमी वस्तुमानाच्या ताऱ्यातून श्वेत बटु तयार होतो.

श्वेत बटूच्या निर्मितीचा दुसरा प्रकार म्हणजे सूर्यासारख्या ताऱ्यांतून हळू हळू श्वेत बटूत रूपांतर होणे हा आहे. चित्र क्रमांक – 63 मधील H–R रेखाचित्रात हा मार्ग लाल राक्षस ताऱ्यांच्या भागातून सुरू होऊन श्वेत बटूंच्या भागात संपलेला दाखवला आहे. अशा ताऱ्यां-तील अणुगर्भीय प्रक्रिया पूर्ण झाल्या नसून फक्त कार्बन-ऑक्सिजनच्या निर्मितीं पर्यंतच पोच-लेल्या असतात. अशा ताऱ्यांच्या बहिर्भागात असलेले हायड्रोजन व हीलियम बाहेर फेकले जातात. हे काम मोठ्या स्फोटांच्या रूपात न होता लहान लहान स्फोटात होते. आतले दाबांचे संतुलन अणुगर्भीय प्रक्रियांमुळे थोडे बिघडले की त्याचे लहान स्फोटात पर्यवसान होते आणि ताऱ्यातून बाहेरचा वायू फेकला जातो. अशा तऱ्हेने बाहेर फेकलेला वायुभाग ताऱ्याच्या प्रकाशात चमकतो. चित्र क्रमांक 68 मध्ये दोन छायाचित्रात असे प्रकार दाखवले आहेत. त्यांना ग्रहानुवर्ती अभ्रिका (Planetary Nebulae) म्हणतात. (सूर्य प्रकाशात ग्रह चमकतात तसे ही अभ्रिका ताऱ्यांच्या प्रकाशात चमकते.)

श्वेत बटूंची घनता साधारण ताऱ्यांच्या मानानें जास्त असली तरी न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या मानाने कमी असते. ही साधारण लिटर मागे एक अब्ज ग्राम अशी असते. H–R रेखा चित्रात दाखवल्याप्रमाणे श्वेत बटूंचा दीप्तिस्रोत बराच कमी (सूर्या पेक्षा 1000 पटीने कमी) असला तरी तो दुर्बिणीना दिसतो. न्यूट्रॉन ताऱ्यांचे अस्तित्व मात्र एका वेगळया प्रकाराने दिसते.

पल्सार

1967 मध्ये केंब्रिज विद्यापीठातील रेडिओ खगोल शास्त्रात संशोधन करणाऱ्या एका विद्या-र्थिनीला - जॉसलिन बेल (Jocelyn Bell) ला - अचानकपणे एक महत्त्वाचा शोध लागला. आपल्या नेहमीच्या संशोधन कार्यासाठी अंतराळाचे वेध घेत असताना तिला अतिशय नियमितपणे येणाऱ्या स्पंदन लहरी मिळू लागल्या. अशा लहरींचा नमूना चित्र क्रमांक 61 मध्ये दाखवला आहे. त्या लहरी कुठून येत असाव्यात, त्या खरोखर अंतराळातून येतात का मानव निर्मित असून पृथ्वीवरूनच उगम पावल्यात वगैरे प्रश्नांचा छडा लावण्यासाठी तिने आपले निरीक्षण चालू ठेवले आणि ही गोष्ट आपल्या प्राध्यापक अँन्थनी ह्यूइश (Antony



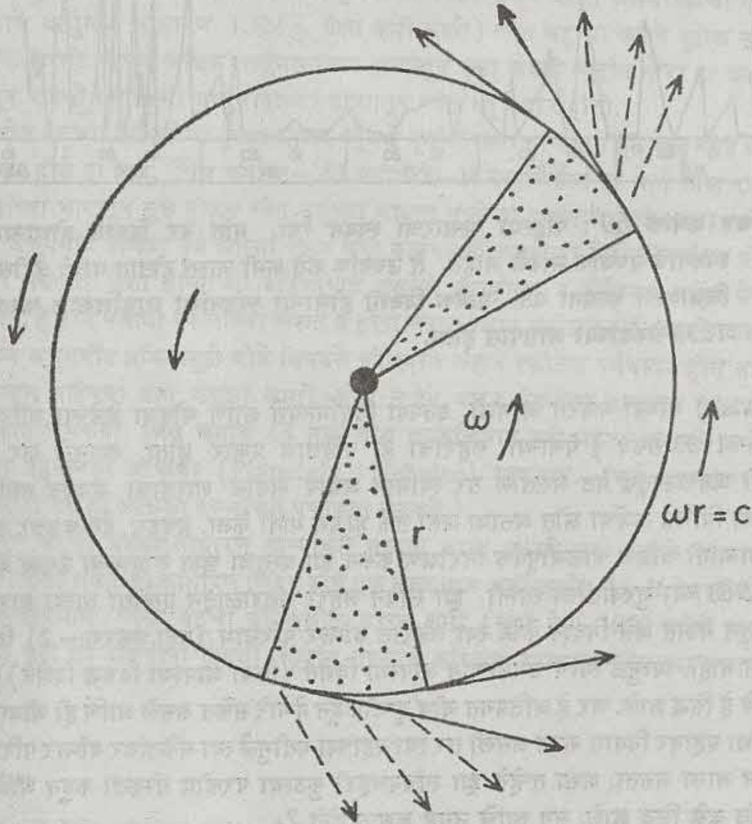
चित्र क्रमांक 69 : पहिल्या पल्सारची स्पंदन रेषा. यांत दर दिवशी होणाऱ्या स्पंदनांचे उच्चांक मांडले आहेत. ते उच्चांक कसे कमी जास्त होतात याची वरील चित्रावरून कल्पना यते. प्रत्येक दिवशी होणाऱ्या स्पंदनांचा आवृत्तिकाळ फक्त 1.33 सेकंदाच्या आसपास होता.

Hewish) यांच्या नजरेस आणली. इतक्या नियमितपणे आणि थोडया वेळेच्या अंतरावर (~ 1.33 सेकंद) येणाऱ्या लहरींचा हा पहिलाच प्रकार होता. त्यामुळे जर ह्या लहरी अंतराळातून येत असतील तर त्यामागे अद्याप खगोल शास्त्राला अवगत नसलेला एखादा विचित्र ऊर्जेचा स्रोत असावा असा तर्क ह्यूइश यांनी केला. ह्यूइश, बेल व इतर काही सहकाऱ्यांनी अधिक काळजीपूर्वक निरीक्षण करून ह्या वस्तूचा छडा लावायचा प्रयत्न केला.

1968 च्या सुरवातीला त्यांनी ह्या स्पंदन लहरी अंतराळातून एखाद्या ताऱ्या सारख्या वस्तूतून येतात असे निदान केले. त्या लहरीत डॉप्लर परिणाम (पहा प्रकरण – 2) दिसून आला नाही. त्यामुळे त्यांचे उगमस्थान आपल्या दिशेने (किंवा आपल्या विरूद्ध दिशेने) जात नसावे हे सिद्ध झाले. जर हे अतिप्रगत जीव सृष्टीकडून येणारे संकेत असले आणि ही जीवसृष्टी एखाद्या ग्रहावर निवास करत असली तर त्या ग्रहाच्या गतीमुळे त्या संकेतांवर डॉप्लर परिणाम दिसून आला असता. अशा तऱ्हेने ह्या स्पंदनलहरी कुठल्या परकीय संस्कृती कडून आलेल्या नाहींत असे सिद्ध झाले. मग त्यांचे उगम कशात होते ?

न्यूट्रॉन ताऱ्यासारख्या अतिशय घनतावाल्या ताऱ्यांची शक्यता 1939 मध्ये ओपेनहायमर (Oppenheimer) आणि व्हॉल्कॉफ (Volkoff) यांनी बोलून दाखवली होती. 1960–65 च्या दरम्यान न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या अस्तित्वावर बरेच सैद्धांतिक संशोधन झाले. 1964 मध्ये हॉयल (Hoyle), व्हीलर (Wheeler) आणि मी, अशा प्रकारच्या अतिघन ताऱ्यांच्या कंपनातून रेडिओ स्पंदन लहरी कशा तयार होण्याची शक्यता आहे याचे विवेचन केले होते. 1965 मध्ये कॅमेरन (Cameron) यांने पण न्यूट्रॉन ताऱ्यांचा संबंध भराभर येणाऱ्या स्पंदन लहरींशी जोडला होता.

केंब्रिज मधल्या शास्त्रज्ञांनी शोध लावलेल्या वस्तूला पल्सार (Pulsar, मराठीत स्पंदक) असे नाव देण्यात आले. जरी पहिल्या स्पंदकाचा शोध अनपेक्षितरीत्या लागला



चित्र क्रमांक 70 : आपल्या एका अक्षा भोवती फिरणाऱ्या न्यूट्रॉन ताऱ्यातला प्लास्मा कसा गोल फिरवला जातो ते दाखवले आहे. प्लास्म्याचा वेग अक्षापासून लांब जातांना वाढतो. जर कोनीय वेग ω असेल तर ज्या अंतरावर फिरण्याचा वेग (ωr) प्रकाशवेगा (c) ची मर्यादा गाठतो त्या अंतरा(r) पर्यंत प्लास्मा टिकून राहतो. त्या पलीकडे तो टिंबांकित बाणांच्या दिशने बाहेर फेकला जातो. आणि ह्याच सीमवर फिरण्याच्या दिशेच्या रोखात रेडिओ प्रारण फेकले जाते. अखंड बाणांनी ही दिशा वरील चित्रात दाखवली आहे.

तरी त्यानंतरचे स्पंदक मुद्दाम शोधून काढण्यात आले. आजवरचा स्पंदकांचा आकडा 200 च्या वर गेला आहे, आणि यांच्या मुळाशी न्यूट्रॉन तारेच असावेत असे दिसते. ह्याबाबतीत बहुजनमान्य चित्र असे आहे, आणि ते प्रथम गोल्ड (Gold) यांनी 1968 मध्ये सुचवले.

पल्सार हा आपल्या अक्षाभोवती फिरणाऱ्या न्यूट्रॉन ताऱ्यातून उगम पावतो. पृथ्वीच्या फिरण्याचा अक्ष जसा तिच्या चुंबकीय ध्रुवांना जोडणाऱ्या अक्षापेक्षा वेगळा असतो तसा प्रकार न्यूट्रॉन ताऱ्यांत आढळतो. न्यूट्रॉन ताऱ्यांभोवती प्लास्मा असतो. हा प्लास्मा आणि चुंबकीय क्षेत्र न्यूट्रॉन ताऱ्याभोवती फिरवले जाते. (पहा चित्र - क्रमांक 70) चुंबकीयक्षेत्रात विद्युत्भार फिरल्यामुळे काही ठराविक दिशांत रेडिओ प्रारण फेकले जाते. आपण प्रकरण-2 मध्ये याची चर्चा केली होती. हे प्रारण सर्चलाइट प्रमाणे गोल फिरवले जाते आणि ठराविक कालावधिच्या अंतराने आपल्याकडे येते म्हणून चि. क्र. 69 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे त्यांत स्पंदन दिसते.

ही कालावधि सेकंदाच्या आसपास असते आणि इतकी लहान कालावधी मोठ्या आकारमानाच्या वस्तूशी संलग्न असणे शक्य नसते. स्पंदकाच्या मुळाशी अतिशय लहान आकारमानाचा ताराच असणार. श्वेत बटु सुद्धा त्यामानाने मोठा ठरतो - मात्र न्यूट्रॉन तारा घनता आणि आकारमान ह्या दोन्ही निकषावर योग्य ठरतो.

जर हे चित्र बरोबर असेल तर पल्सारच्यारूपाने आपल्याला आता न्यूट्रॉन ताऱ्यांचे दर्शन घडत आहे असे म्हटले पाहिजे. न्यूट्रॉन तारा दृश्य-प्रकाशात जरी मंद असला तरी स्पंदकाच्या रूपाने रेडिओ लहरींमार्गे त्याचा दीप्तिस्रोत सुमारे वर्षाला 10^{47} अर्ग म्हणजे सूर्याच्या कोटीपट असतो. परंतु अद्याप एका दृष्टीने या चित्रात वैगुण्य आहे. जर न्यूट्रॉन तारा हा महास्फोटक ताऱ्यांतून जन्माला येतो तर अशा स्फोटांच्या अवशेषाजवळ स्पंदक सापडले पाहिजेत. तसे दिसून येत नाही. 200 हून जास्त स्पंदकांपैकी 2 किंवा 3 च अशा अवशेषांजवळ दिसतात. म्हणजे अवशेषांशी संबंध नियमित स्वरूपांचा नसून अपवादात्मक आहे. असे का असावे हे कोडे अजून उलगडलेले नाही.

ह्या अपवादात क्रॅब नेब्यूलाचा समावेश आहे. तिथे एक स्पंदक सापडला आहे. त्यामुळे क्रॅब अभ्रिका ही खगोलशास्त्रज्ञांना आणखी एका दृष्टीने अभ्यसनीय ठरली आहे. ह्या अभ्रिकेतून इतरही महत्त्वाचे प्रारण बाहेर पडते. आपण पुढे पुन्हा ह्या विषयाकडे वळू.

कृष्णविवर

ताऱ्यांमधील अणुगर्भीय प्रक्रिया संपुष्टात येत असताना त्याचा, आयुष्याचा अखेरचा काळ श्वेत बटुच्या अवस्थेत किंवा न्युट्रॉन ताऱ्यांच्या अवस्थेत जातो. पण ह्या दोनही परिस्थितीना वस्तुमानाच्या मर्यादा आहेत हे आपण पाहिले. श्वेत बटु अवस्थेत ही मर्यादा

$1.4M_\odot$ च्या आसपास असते तर न्यूट्रॉन ताऱ्याच्या बाबतीत $3M_\odot$ पेक्षा कमीच मानली जाते. परंतु समजा ह्या 'अखेरच्या' काळात ताऱ्याचे वस्तुमान याहून जास्त असले तर ?

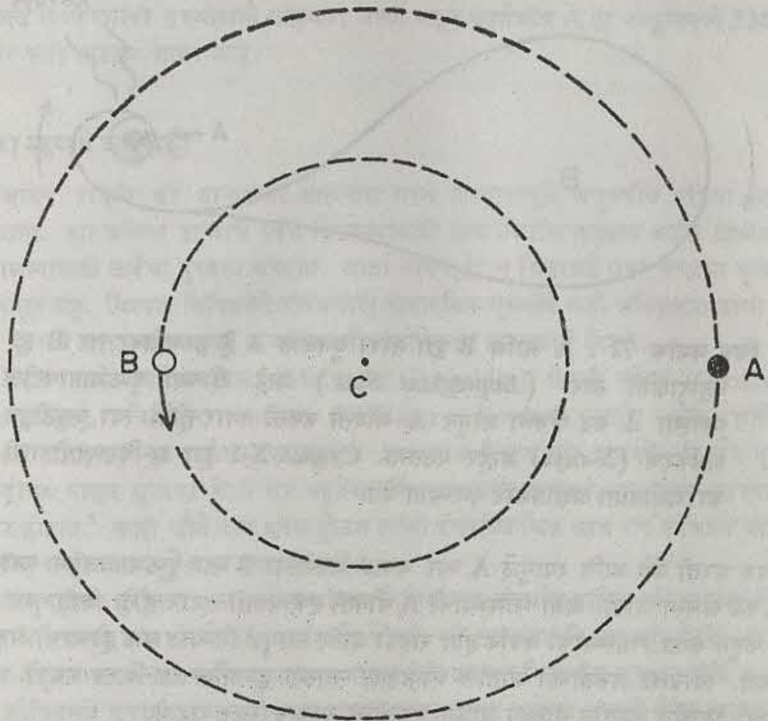
अशी परिस्थिती उद्‌भवणे नाकारता येणार नाही. समजा महास्फोटक ताऱ्याचा गाभा $4M_\odot$ वस्तुमानाचा उरला तर पुढे त्याचे काय होईल? अर्थातच न्यूट्रॉन तारा म्हणून त्याला आपले अस्तित्व टिकवता येणार नाही. त्यातील दाब गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रचंड शक्तीला तोंड देण्यास असमर्थ ठरेल. त्यामुळे ताऱ्याचे आकुंचन होऊ लागेल. आणि आकुंचनामुळे वस्तूचे वेगवेगळे घटक जवळ येऊन त्यांचे परस्परावरचे गुरुत्वाकर्षण बळावते आणि आकुंचनाला आणखी जोर येतो. न्यूट्रॉन ताऱ्यापेक्षा अधिक घनतेच्या वस्तूचे भौतिक व्यवहार कसे असतात हे अद्याप माहित नाही. परंतु हे वाढत्या वेगाने होणारे आकुचन थांबवेल अशी कुठलीही शक्ती आजवर प्रस्थापित असलेल्या भौतिकशास्त्रात नाही. हे निर्विरोध वाढत्या वेगाने होणारे आकुंचन **गुरुत्वीय अवपात** (Gravitational Collapse) म्हणून ओळखले जाते.

गुरुत्वीय अवपातामुळे ताऱ्याचा आकार लहान होत जातो आणि शेवटी प्रकरण–2 मध्ये सांगितलेल्या परिस्थितीत त्याचे 'कृष्णविवर' (Black Hole) होते. कृष्णविवरांची अलिकडे बरीच चर्चा होते, विशेषतः अनेक खगोलशास्त्रीय अद्‌भुत घटनांमागे कृष्णविवर असेल असे सिद्धांत मांडायची एक नवी फॅशनच आलेली दिसते. आपण वस्तुस्थितीकडे पाहूया.

अमुक एका ठिकाणी कृष्णविवर आहे हे खगोलशास्त्रज्ञाने ठरवायचे तरी कसे ? इतर वस्तूंचे अस्तित्व त्यांच्या दर्शनाने सिद्ध होते आणि दर्शन होते दृश्यप्रकाशाद्वारे किंवा विद्युच्चुंबकीय लहरींच्या इतर प्रकारामुळे. परंतु ही सर्व दर्शनाची माध्यमे कृष्ण विवराला उपयोगी पडत नाहीत. कारण कृष्ण विवराच्या सान्निध्यात आलेला प्रकाश त्याच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे तेथेच अडकतो ! म्हणून कृष्णविवराचे अस्तित्व सिद्ध करायला त्याच्या गुरुत्वाकर्षणाचाच उपयोग करून घ्यावा लागतो.

चित्र क्रमांक–71 मध्ये एक तारा-युगल दाखवले आहे. हे दोन तारे आपापल्या अक्षाभोवती फिरतात आणि शिवाय एकमेकाभोवती पण. ही तारा युगले बरीच प्रामुख्याने आपल्या आकाशगंगेत आढळतात. त्यांच्या निर्मितीबद्दल थोडी चर्चा प्रकरण–4 मध्ये सूर्यमालेच्या निर्मितीच्या संदर्भात आली होती. अशी कल्पना करू की ह्या युगलापैकी एक तारा (A) हळूहळू कृष्णविवर होतो. मग दुसरा तारा (B) हाच फक्त आपल्याला दिसेल. आणि तो पूर्वीप्रमाणे गोल फिरत असेल. मात्र तो कशामुळे गोल फिरतो असा प्रश्न आपल्यापुढे येईल. कारण कुठल्याही बाहेरच्या बळाचा अंमल नसल्यास न्यूटनच्या गतीच्या नियमाप्रमाणे तारा B हा स्थिर तरी असला पाहिजे किंवा सरळ रेषेत सारख्या वेगाने धावला पाहिजे.

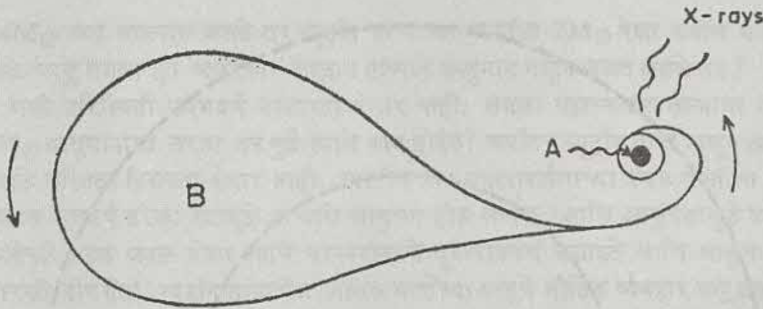
म्हणून जर आपल्याला एकच तारा गोलाकार कक्षेत फिरत असताना दिसला तर त्यावरून आपण असा निष्कर्ष काढू शकू की त्याच्याशेजारी एक अदृश्य तारा आहे. आणि जर त्या



चित्र क्रमांक 71 : A आणि B हे दोन ताऱ्यांचे युगल—एकमेकाभोवती फिरणारे. हे दोन तारे त्यांच्या वस्तुकेंद्रा (C) भोवती वर्तुळाकार कक्षांत फिरताना दाखवले आहेत. जर A कृष्णविवर बनून अदृश्य झाला तर फक्त B च आपल्या कक्षेत फिरताना दिसेल. (सर्वसाधारणपणे ह्या कक्षा वक्रगोलाकार असतात.)

अदृश्य ताऱ्याचे वस्तूमान $3M_{\odot}$ पेक्षा जास्त असेल तर तो न्यूट्रॉन तारा असणे शक्य नाही हाही निष्कर्ष आपण काढू शकू. आणि अशा परिस्थितीत आपण त्या ताऱ्याच्या शेजारी एक कृष्णविवर आहे असा तर्क करायला हरकत नाही. अशातऱ्हेने कृष्णविवराचा पुरावा प्रत्यक्ष स्वरूपाचा नसून परिस्थितिजन्य असतो. आणि त्यामुळे तेथे संशयाला थोडी तरी जागा राहते.

प्रत्यक्षात कृष्णविवर असलेले तारायुगल शोधायला क्ष-किरणांचे खगोलशास्त्र उपयोगी पडते. चित्र क्रमांक–72 मध्ये असे एक तारा युगल दाखवले आहे. त्यांत A हे कृष्णविवर आहे आणि B हा एक राक्षसतारा आहे. A च्या गुरुत्वाकर्षणामुळे B च्या पृष्ठभागावर



चित्र क्रमांक 72 : A आणि B ह्या तारा युगलात A हे कृष्णविवर तर B हा महाराक्षसी तारा (Supergiant Star) आहे. B च्या पृष्ठभागावरील प्लास्मा A कडे खेचला जावून A भोवती चकती तयार होते. त्या चकतीतून क्ष-किरणे (X-rays) बाहेर पडतात. Cygnus X-1 ह्या क्ष-किरणस्त्रोताची कारणमीमांसा अशाप्रकारे करण्यात येते.

प्रचंड भरती येते आणि त्यामुळे A च्या जवळ असलेल्या B च्या पृष्ठभागावरून प्लास्मा A कडे खेचला जातो. अशा प्लास्म्याची A भोवती एक चकती तयार होते. अशा चकतीत B कडून सतत प्लास्म्याचा वर्षाव होत राहतो आणि त्यामुळे तिच्यात वाढ होण्याची प्रवृत्ती असते. त्याउलट चकतीच्या आतील भागातला प्लास्मा कृष्णविवरात शिरत असतो. ह्या दोन्ही प्रवृत्तीत समतोल साधला जाऊन चकतीचा आकार स्थिर राहतो.

परंतु ह्या स्थिर स्थितीत बाहेरचा प्लास्मा हळुहळू A ला अनेक प्रदक्षिणा घालून आत जातो आणि त्यामुळे त्यातून (प्रकरण–2 मध्ये चर्चिलेले) त्वरणजनित प्रारण बाहेर पडते. हे प्रारण क्ष-किरणांच्या स्वरूपात असते. त्यामुळे जेव्हा क्ष-किरणांद्वारे विश्वाचे वेध घेणे शक्य झाले तेव्हा ह्या मार्गाने आपल्या आकाशगंगेतील कृष्णविवरे शोधणे पण शक्य झाले.

आजवरच्या दहा वर्षांच्या निरीक्षणांतून Cygnus X-1 हे क्ष-किरणांचे उगमस्थान वर सांगितलेल्या प्रकारचे असावे असे अनेक तज्ञांना वाटते. इथे A अर्थात अदृश्य आहे पण B हा एक महाराक्षस तारा (Supergiant) आहे. B हा A भोवती $5\frac{1}{2}$ दिवसातून एकदा जातो. B वरील निरीक्षणांतून आणि तारायुगलाला न्यूटनचा गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत लावून A चे वस्तुमान $6M_{\odot}$ पेक्षा जास्त आहे असा निष्कर्ष काढला जातो. म्हणून 'सिग्नस क्ष-1' येथे एक कृष्णविवर आहे असे विधान करण्यात येते.

ह्यासंबंधात असे सांगावेसे वाटते की अजून हा निष्कर्ष सर्वमान्य नाही आणि पुराव्याबद्दल शंका व्यक्त करणारे काही अनुभवी खगोलशास्त्रज्ञ आहेत. तसेच आणखी अशीच तारायुगल-

जनित क्ष-किरणांची उगमस्थाने पाहण्यात आली असून बहुतेकांत A हा वस्तुमानाने $3M_\odot$ पेक्षा कमी आढळून आला आहे.

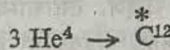
तारा म्हणजे अणुभट्टी

आपण पाहिले की ताऱ्यांच्या अंतरंगांत उच्च तपमानामुळे अणुगर्भीय प्रक्रिया चालू असतात. ह्या प्रक्रिया ताऱ्याचे स्थैर्य टिकवण्यासाठी दाब निर्माण करतात आणि ताऱ्याला प्रकाशण्यासाठी ऊर्जेचा पुरवठा करतात. आता आपण ह्याच चित्राकडे एका वेगळ्या दृष्टिकोनातून पाहू. विश्वात विविधतेने सापडणारी रासायनिक मूलतत्वे कशी अस्तित्वात आली ? ह्या प्रश्नाचे उत्तर आपल्याला ताऱ्यांच्या जीवनगाथेतूनच प्रामुख्याने मिळते.

1957 मध्ये मार्गारेट बर्बिज (Margaret Burbridge), जेफरी बर्बिज (Geoffrey Burbridge), विलियम फाउलर (William Fowler) आणि फ्रेड हॉयेल (Fred Hoyle) ह्या चौघा शास्त्रज्ञांनी एक प्रबंध लिहून असे दाखवले की जर मूळ हायड्रोजन पासून सुरवात केली तर बहुतेक सर्व मूलतत्वांचे अणुगर्भ ताऱ्यांच्या अंतरंगात तयार होतात.[2] काही थोडे फार बदल होऊन त्यांनी रंगवलेले चित्र आज पण सर्वमान्य आहे. त्यातील काही ठळक मुद्दे अशा प्रकारचे आहेत.

1) **अणुभट्टीची सुरवात** : आपण ताऱ्यांच्या निर्मितीच्या संदर्भात पाहिले की त्यांच्या केंद्रस्थानाचे तपमान एका विशिष्ट पातळीपर्यंत पोचले की त्यांच्यातली अणुभट्टी पेटते. तारा प्रमुख अनुक्रमावर असतो आणि हायड्रोजन पासून हीलियमच्या निर्मितीस सुरवात होते.

2) **हीलियमचे रूपांतर** : तारा राक्षसताऱ्याच्या वळणावर जायला लागतो तेव्हा त्याच्यात तपमानाची वाढ होते आणि हीलियमचे कार्बनमध्ये रूपांतर होते. वास्तविक दोन He^4 चे अणुगर्भ एकत्र येऊन त्यातून Be^8 हा बेरिलियम चा अणुगर्भ तयार व्हायला हवा. परंतु हा अणुगर्भ अस्थिर स्वरूपाचा असल्याने त्याचे पुन्हा हीलियम मध्ये विभाजन होते. त्यामुळे मोठा अणुगर्भ बनवायला दोन ऐवजी तीन हीलियमचे अणुगर्भ एकदम जवळ येणे आवश्यक आहे. त्यांच्या संयोगाने कार्बनचा एक विशेष प्रकारचा अणुगर्भ तयार होतो :

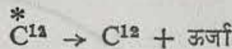


$$3\,He^4 \rightarrow \overset{*}{C}{}^{12}$$

इथे * हे चिन्ह त्या अणुगर्भात नेहमीपेक्षा अधिक ऊर्जा आहे हे दर्शवते. अशा अणुगर्भाला 'उत्तेजित' (Excited) अणुगर्भ म्हणतात. असे अणुगर्भ स्वतःतली वाजवीपेक्षा जास्त ऊर्जा टिकवू शकत नाही. ती ऊर्जा प्रकाशाच्या रूपाने बाहेर पडून ते अणुगर्भ कमी ऊर्जेची

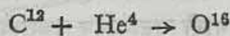
2. पहा : Reviews of Modern Physics, **29**, 547 (1957)

स्थिर स्थिती गाठते :



$$\overset{*}{C}^{12} \rightarrow C^{12} + \text{ऊर्जा}$$

अशातऱ्हेने हीलियमच्या रूपांतराने ऊर्जा मिळू शकते हे हॉयेलने निदर्शनास आणले.
3) **अल्फा-प्रक्रिया :** कार्बनचा अणुभार 12 आहे. त्याचा हीलियमशी संयोग घडून आला की 16 अणुभाराचा ऑक्सिजनचा अणुगर्भ तयार होतो :



$$C^{12} + He^{4} \rightarrow O^{16}$$

हीलियमच्या अणुगर्भाला α मूलकण हे पण नाव आहे. अशा मूलकणाच्या संयोगाने ऑक्सिजनच्यापुढे मजल मारता येते आणि निऑन (Ne^{20}), मॅग्नेशियम (Mg^{24}), सिलीकन (Si^{28}), सल्फर (S^{32}) असे 4 नी वाढत जाणाऱ्या अणुभाराचे अणूगर्भ तयार होतात. अर्थात ह्या सर्वांसाठी ताऱ्यातले तपमान अधिकाधिक असावे लागते. आणि हा 4 चा पाढा लोखंडापर्यंत (Fe^{56}) येऊन थांबतो. या पुढील अणुगर्भ बरेच मोठे झाले असल्याने त्यांना बांधणारी आकर्षक शक्ती क्षीण व्हायला सुरवात होते. त्यातील प्रोटॉनना परस्परांपासून दूर सारणारी विद्युत्शक्ती आता आपला प्रभाव दाखवू लागते. त्यामुळे ही अल्फा प्रक्रिया Fe^{56} च्या पुढे जाऊ शकत नाही.
4) **समतोल-प्रक्रिया :** ही प्रक्रिया राक्षस ताऱ्याच्या अस्तित्वाच्या शेवटी घडून येते. ह्यावेळेपर्यंत ताऱ्याच्या केंद्रभागातील तपमान 10 अब्जाच्या घरात जाऊन पोचलेले असते. अशावेळी ताऱ्यांच्या अंतरंगात उष्णतेचा समतोल साधला जातो. ह्या समतोलाखाली वेगवेगळे अणुगर्भ, अल्फा कण, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन, न्यूट्रीनो वगैरेंचे परस्परांशी संयोग आणि परस्परात विघटन चालू असते. ही खिचडी शिजवून त्यांत वेगवेगळे घटक किती प्रमाणात असतील हे गणित मांडून सांगता येते. आणि पुढे हेच घटक ताऱ्याच्या स्फोटात बाहेर अंतराळात फेकले जात असल्याने ह्या घटकांचे गणिताने शोधून काढलेले प्रमाण अंतराळात सापडलेल्या प्रमाणाशी मिळते जुळते असले पाहिजे. तसे साम्य आढळून आल्याने ह्या सर्व अटकळीला बराच पाठिंबा मिळाला आहे. (इंग्रजीत ह्या प्रक्रियेला e-process, equilibrium process म्हणतात.)

अलिकडे आयेंडे (Allende) मीटिओराइटमध्ये सापडलेल्या अल्युमिनियम (Al^{26}) मुळे असा पुरावा मिळतो की आपल्या सूर्यमालेच्या निर्मितीची सुरवात एका महास्फोटक ताऱ्याच्या आसमंतात झाली असावी. कारण Al^{26} ची निर्मिती आणि त्याची अंतराळात उपस्थिती अशा ताऱ्यामुळे शक्य होते. ताऱ्याच्या स्फोटाने उत्पन्न झालेल्या प्रघाती लहरी जेव्हा

एखाद्या मेघावर आदळतात तेव्हा त्यांच्या दाबाने त्या मेघाचे आकुंचन सुरू होते. अशाच प्रकारे सूर्यमालेच्या निर्मितीस चालना मिळाली असावी.

खालील सारणीत वेगवेगळ्या प्रक्रियांचे तपमान दिले आहेत त्यावरून ताऱ्यातली अणुभट्टी किती प्रखर असते याची कल्पना येईल.

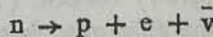
मूलतत्वांची निर्मिती
(हायड्रोजन ते लोखंड)

प्रकार	अणुगर्भीय प्रक्रिया	तपमान (°K)
प्रारंभ	$4H^1 \Rightarrow He^4$	10^7
हीलियमचे रूपांतर	$3He^4 \Rightarrow C^{12}$	2×10^8
	$C^{12}+He^4 \Rightarrow O^{16}$	2×10^8
अल्फा-प्रक्रिया	$2C^{12} \Rightarrow He^4, Ne,^{20}\ Mg^{24}$	8×10^8
	$2O^{16} \Rightarrow He^4, Si^{28}$	1.5×10^9
	$2Si^{28} \Rightarrow Ni^{56}, Co^{56}, Fe^{56}$	3.5×10^9
e—प्रक्रिया	अनेक प्रक्रियांची खिचडी	10^{10}

अर्थात ताऱ्यांतील प्रक्रिया इथे संपत नाहीत. त्यांना पुढे वेगळे वळण लागते. त्याची थोडक्यात पुढे चर्चा केली आहे.

5) **r, s आणि p प्रक्रिया :** लोखंडाहून जास्त अणुभाराचे अणुगर्भ पण ताऱ्यात तयार होऊ शकतात. मात्र त्यांच्या प्रक्रियांतून ताऱ्याला ऊर्जा मिळत नाही. उलट त्यासाठी ऊर्जा पुरवावी लागते. मोठे अणुगर्भ तयार करायला प्रोटॉनचा उपयोग होत नाही कारण त्यांना विद्युत्प्रतिकर्षणाला तोंड द्यावे लागते. मात्र न्यूट्रॉनचा मारा करून (त्यांना विद्युत्भार नसल्याने) ताऱ्यातील विद्यमान अणुगर्भांचा अणुभार वाढवता येतो. हे दोन प्रकारे घडू शकेल आणि त्यासाठी आपल्याला प्रकरण–2 मध्ये सांगितलेल्या मंदक्रिये (Weak Interaction) ची दखल घेणे आवश्यक आहे.

मंदक्रियेमध्ये न्यूट्रॉनचे प्रोटॉनमध्ये परिवर्तन होते :

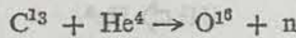


$$n \rightarrow p + e + \bar{v}$$

त्यामुळे जर एखादा अणुगर्भ Z प्रोटॉनचा आणि A–Z न्यूट्रॉनचा (A = अणुभार) बनलेला असेल तर वरील क्रियेमुळे त्याचे Z–1 प्रोटॉन आणि A–Z–1 न्यूट्रॉनच्या

अणुगर्भात रूपांतर होईल. आता अशी कल्पना करा की त्यावर न्यूट्रॉनचा मारा पण होत आहे ज्यामुळे त्या अणुगर्भातील न्यूट्रॉनची संख्या वाढू शकेल. जर हा मारा वरील मंदक्रियेपेक्षा कमी वेगाने होत असेल तर त्यामुळे एकंदर प्रोटॉनच्या संख्येत वाढ होतानाच दिसेल (म्हणजे Z ची वाढ A–Z च्या वाढीपेक्षा जास्त असेल.) अशा प्रक्रियेला s-process (slow process : हळू घडणारी प्रक्रिया) म्हणतात. त्या उलट न्यूट्रॉनचा मारा जास्त वेगाने होत असेल तर प्रोटॉनच्यापेक्षा न्यूट्रॉनच्या संख्येत वाढ जास्त वेगाने होईल. अशा प्रक्रियेला जलद प्रक्रिया (r process: rapid process) म्हणतात.

हे न्यूट्रॉन कसे तयार होतील ? त्यांची निर्मिती



$$C^{13} + He^{4} \rightarrow O^{16} + n$$

ह्या प्रक्रियेतून होते. जर ताऱ्यामध्यें, अपवादात्मक स्वरूपात C^{13} चे प्रमाण बरेच जास्त असेल (संख्येने Fe^{56} ह्या लोखंडाच्या अणुगर्भाच्या 100 पटीने जास्त न्यूट्रॉन तयार होतील इतके) तर त्या न्यूट्रॉनच्या जोरावर लोखंडापेक्षा मोठे अणुगर्भ r आणि s प्रक्रियेतून तयार होतात.

त्याशिवाय प्रोटॉन किंवा बऱ्याच ऊर्जेचे फोटॉन (प्रकाशाचे मूल कण) यांचा मारा होणे शक्य असेल तर प्रोटॉन प्रचुर आयसोटोप तयार होऊ शकतात. p-process म्हणून ओळखला जाणारा हा प्रकार मात्र क्वचितच घडतो.

महास्फोटक ताऱ्यातून निघणारा प्रकाश पहिले 20–30 दिवस भराभर वाढत जातो आणि त्यानंतर त्याच्यात हळूहळू घट होते आणि ती शेकडो दिवस टिकते. प्रथम होणारी वाढ आणि घट ही स्फोटातून उत्पन्न होणाऱ्या ऊर्जेत होणाऱ्या बदलांची द्योतक आहेत. त्याउलट नंतरचा प्रकाश हा r प्रक्रियेत लोखंडापासून तयार होणाऱ्या अणुगर्भांच्या निर्मितीतच उत्पन्न होतो असा तर्क आहे.

6) **x – प्रक्रिया :** बीजगणितातील अज्ञात संख्या जशी x (क्ष) ने दाखविली जाते तशीच ही एक अज्ञात प्रक्रिया समजावी. कारण वरील ज्ञात प्रक्रियांनी विश्वातील बहुतेक सर्व तऱ्हेच्या अणुगर्भांच्या उत्पत्तीवर प्रकाश टाकता येतो तरी काही हलक्या (म्हणजे कमी अणुभाराच्या) अणुगर्भांची निर्मिती कशी झाली हे त्यांवरून कळत नाही. उदाहरण म्हणजे ड्यूटिरियम (A = 2 जड हायड्रोजन) लिथियम, (A = 5), बेरिलियम (A = 6) आणि बोरॉन ((A = 7)). शिवाय हीलियमसुद्धा जितक्या प्रमाणात ताऱ्यांतून तयार होते त्याहून जास्त प्रमाणात विश्वात आढळते. ह्या सर्वांची निर्मिती x – प्रक्रियेमुळे झाली— म्हणजे बहुतेक ताऱ्यांची मदत न घेता झाली—असे म्हणायला हरकत नाही. पुढे प्रकरण–7 मध्ये आपण यावर चर्चा करू.

उपसंहार

अशी आहे ताऱ्यांची जीवनगाथा, जी अनेक प्रकारच्या संशोधनाद्वारे खगोलशास्त्रज्ञांनी जुळवत आणली आहे. ताऱ्यांचे गुणधर्म, त्यांच्यातली विविधता, वयोमानाप्रमाणे त्यांत घडणारे बदल, ताऱ्यांतून निर्माण होणारी मूलतत्वे इत्यादी गोष्टींची आपण थोडक्यात चर्चा केली. आता आपण याहून मोठया वस्तूंकडे आपले लक्ष वळवू या. या वस्तू म्हणजे आपली आकाशगंगा आणि तिच्या बाहेर पसरलेले अफाट अंतराळ !

* * *

६. आकाशगंगेच्या आत आणि बाहेर

आकाशगंगा

चित्र क्रमांक - 2 मध्ये आपण आकाशगंगेचा आकार आणि व्याप दाखवणारी रेखाकृती पाहिली. आपली आकाशगंगा म्हणजे वास्तविक सुमारे शंभर अब्ज ताऱ्यांचा एक समूह आहे. गेल्या शतकात आपल्या आकाशगंगेतच संपूर्ण विश्व समाविष्ट आहे अशी खगोल-शास्त्रज्ञांची धारणा झाली होती. त्या धारणेला 1920–1930 ह्या दशकात मोठा तडाखा बसला. आपल्या आकाशगंगे सारखीच आणखी 'तारका विश्वे' आकाशगंगे बाहेरील अफाट अंतराळात पसरली आहेत याची जाणीव त्यांना होऊ लागली. ह्या असंख्य तारकाविश्वांनी भरलेल्या विशाल विश्वाची माहिती आपण पुढल्या प्रकरणात करून घेऊ. ह्या प्रकरणात आपण प्रथम आकाशगंगेची ओळख वाढवून घेऊ आणि मग आकाशगंगे बाहेर काय काय सापडते त्याची थोडक्यात चर्चा करू.

आपण आकाशगंगा आतून पहात असल्याने तिचे खरे स्वरूप उमगण्यास बराच उशीर लागला. त्यामुळे **चि. क्र.** 2 मधील रेखाकृती दिसायला सोपी वाटत असली तरी तिच्या आतून तिचे रूप ओळखणे सोपे नाही. आपल्या शेजारचे तारकाविश्व ॲण्ड्रॉमिडा (देवयानी) **चित्र क्रमांक** - 73 मध्ये दाखवले आहे त्यावरून आपल्या आकाशगंगेची कल्पना येईल. खुद्द आपल्या आकाशगंगेचे वेगवेगळ्या दिशात घेतलेले फोटो जोडले तर कसे दिसेल हे **चित्र क्रमांक** - 74 मध्ये दर्शवले आहे.

ह्या जोडलेल्या फोटोत शुभ्र पट्टा (ज्यामुळे 'आकाशगंगा' किंवा 'Milky Way' ही नावे आपल्या तारकाविश्वाला प्राप्त झाली) ताऱ्यांच्या प्रकाशातून तयार झालेला आहे. **चि. क्र.** 2 मधल्या चकतीतले हे तारे. त्या पट्ट्याचे दर्शन आपल्याला निरभ्र आकाशात रात्री डोळ्यांनी पण घेता येते. पट्ट्याला मधून मधून भेदून जाणारे काळे भाग हे **चि. क्र. - 74**

मधील जोड-फोटोंत आहेत. हे काळे भाग कशाचे द्योतक आहेत ? प्रथम खगोल शास्त्रज्ञांचा असा समज झाला की हे काळे भाग ताऱ्यांच्या दरम्यान पोकळी आहे असे दर्शवितात. परंतु अधिक सूक्ष्म निरीक्षणावरून त्या भागात पोकळी नसून तेथे प्रकाश शोषक 'धूळ' (Dust) आहे असा निष्कर्ष काढण्यात आला. त्याच प्रमाणे जेव्हा ताऱ्यांच्या प्रकाशाचे विश्लेषण करून वर्णपंक्ती घेण्यात आल्या तेव्हा त्यातील शोषण रेषांनी वायु (Gas) चे अस्तित्व पण दर्शवले. अशा प्रकारे आपली आकाशगंगा तीन घटकापासून बनली आहे असे म्हणायला हरकत नाही. हे तीन घटक म्हणजे तारे, धूळ आणि वायु. आपण ह्यांची थोडक्यात माहिती करून घेऊ.

तारे : पूर्वी सांगितल्याप्रमाणे आकाशगंगेतील तारे एका चकतीत विखुरले आहेत. ह्या चकतीचा व्यास एक लाख प्रकाशवर्ष आहे पण जाडी मात्र त्या मानाने फार कमी आहे; सुमारे 3 हजार प्रकाश वर्ष ! सूर्य आणि ग्रह माला हे चकतीत केंद्रापासून 10 kpc (10 किलो पार्सेक म्हणजे सुमारे 30 हजार प्रकाश वर्षे) अंतरावर आहेत. हे आपल्या दृष्टीने योग्यच म्हणावे लागेल. कारण आकाशगंगेच्या केंद्रभागी बरीच खळबळ, गर्दी, ताऱ्यांच्या टकरा इत्यादी असल्याने तो भाग जीवसृष्टीस बहुधा अप्रायकारकच असावा !

आपण ज्या पृथ्वीवर आहोत ती स्थिर नसून सूर्याभोवती घिरट्या घालते हे कोपर्निकसने प्रथम दाखवले. मग सूर्य तरी स्थिर समजायचा का ? नाही ! सूर्य सुद्धा गतिमान आहे. 1778 मध्ये विल्यम हर्शल (William Herschel) ह्या खगोलशास्त्रज्ञाने सूर्याच्या आसपासच्या 36 ताऱ्यांच्या गतीचा अभ्यास करून असा निष्कर्ष काढला. ह्या ताऱ्यांच्या गतीची सरासरी काढली तर तिच्या मानाने सूर्य स्थिर नसून शौरी (Hercules) तारका पुंजाच्या दिशेने जात आहे असा हर्शलचा निष्कर्ष थोडे फार बदल होऊन आजही कायम आहे. हा वेग सुमारे 20 कि. मि. प्रति सेकंद इतका आहे.

परंतु जर आकाशगंगेतील सर्वच ताऱ्यांकडे व्यापक दृष्टीने पाहिले तर एकंदर आकाश-गंगाच आपल्या अक्षा भोवती (हा अक्ष चकतीला लम्बवत् आहे) गोल फिरते असे आढळून येते. लिंडब्लाड (Lindblad) याने हे प्रथम निदर्शनास आणले. पुढे ऊर्ट (Oort) ह्या खगोलशास्त्रज्ञाने ताऱ्यांच्या गतीची त्यांच्या आपल्यापासूनच्या अंतराशी सांगड घालून दिली. आणि जर आपण असे मानले की हे तारे आकाशगंगेच्या आतल्या भागात प्रामुख्याने केंद्रित झालेल्या वस्तुमानाच्या गुरुत्वकर्षणाखाली घिरट्या घालत आहेत तर त्यावरून आपल्याला आकाशगंगेच्या वस्तुमानाची कल्पना येईल.

जर हे केंद्रित झालेले वस्तुमान M असेल तर त्या पासून R अंतरावर असलेल्या ताऱ्याचा केंद्राभोवती वर्तुळाकृती कक्षेत फिरण्याचा वेग सुमारे

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}} \qquad (1)$$

इतका असतो. ह्याच नियमाने आपण न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताचा केप्लरच्या नियमांशी संबंध बसवला होता. ताऱ्यांच्या अनेक वर्षांच्या निरीक्षणावरून आपल्याला त्यांची आपणापासून त्यांच्यापर्यंतच्या दिशेशी काटकोन करून जाणाऱ्या दिशेत फिरण्याची गती कळू शकते. खुद्द त्यांच्या दिशेत फिरण्याची गती जर फार कमी नसेल तर डॉप्लर परिणामाने मोजता येते (**पहा प्रकरण -2**). अशा प्रकारे वरील सूत्रात V माहीत होते. सूर्याची केंद्रा भोवती फिरण्याची गती सेकंदाला 250 कि. मी. आहे. गेल्या प्रकरणात आपण ताऱ्यांची अंतरे कशी मोजतात तेही पाहिले. त्यावरून R समजू शकतो. सूर्याचे केंद्रापासूनचे अंतर आधी सांगितल्या प्रमाणे 10 kpc $\cong 3 \times 10^{22}$ से.मी. हे आहे. ही मूल्ये सूत्र नं. (1) मध्ये घातली की उत्तर येते.

$$M = \frac{V^2 R}{G} \cong 1.4 \times 10^{11} M_{\odot}$$

ह्यावरून आकाशगंगेच्या विशालतेची थोडी कल्पना येते. जरी सूर्याचा वेग सेकंदाला 250 कि. मी. (म्हणजे तीन मिनिटापेक्षा कमी वेळात पृथ्वी प्रदक्षिणा करता येईल इतका जास्त) असला तरी त्याला आकाशगंगेची प्रदक्षिणा करायला २० कोटी वर्षे लागतील !

धूळ :– चित्र क्रमांक – 75 मध्ये अश्वशिर अभ्रिका (Horse Head Nebula) दाखवली आहे. घोड्याच्या डोक्याचा काळा आकार हा धुळीच्या कणानी पाठीमागच्या ताऱ्यांचा प्रकाश शोषून घेतल्याने आला आहे. ही धूळ कशाची असते? याबद्दल गेल्या तीन दशकात बरीच माहिती मिळाली आहे. जेव्हा ताऱ्याचा प्रकाश धुळीच्या कणावर पडतो तेव्हा तो प्रकाश थोडा शोषला जातो, आणि थोडा वेगवेगळ्या दिशांत विखुरला जातो. विखुरलेल्या प्रकाशाची लहरलांबी बदलते. ह्या दोन्ही गुणावरून प्रकाशाच्या मार्गातले धूलिकण कुठल्या पदार्थाचे आहेत याची कल्पना येऊ शकते. अशा तऱ्हेने अर्धवट शोषल्या गेलेल्या प्रकाशाचा अभ्यास करून कुठल्या कुठल्या प्रकारचे धूलीकण असावेत याचा अंदाज खगोलशास्त्रज्ञांनी केला आहे. त्यांत बर्फ, ग्रेफाइटच्या स्वरूपात कार्बन, सिलिकेट इत्यादींचा प्रामुख्याने समावेश होतो. घनीभूत हायड्रोजन सुद्धा धुळीच्या स्वरूपात असू शकते. धूलीकणाचा व्यास सर्वसाधारणपणे मायक्रॉन ($= 10^{-4}$ से. मी.) च्या आसपास असतो. आपण गेल्या प्रकरणात ताऱ्यांची अंतरे मोजायचा जो दुसरा प्रकार पाहिला त्यांवर धुळीच्या उपस्थितीमुळे परिणाम होतो. त्यामुळे जर एखादा तारा आपल्याला फार मंद वाटला तर तो केवळ लांब आहे म्हणून मंद दिसतो असे म्हणता येणार नाहीं. वाटेत धुळीने त्याच्या प्रकाशाचे शोषण केल्यामुळेसुद्धा तो मंद असू शकेल. धुळीचे अस्तित्व माहीत होण्यापूर्वी खगोलशास्त्रज्ञांनी बऱ्याच ताऱ्यांची अंतरे वस्तुस्थितीपेक्षा जास्त गृहीत धरली होती ती ह्याच कारणामुळे.

वायु :– **चित्र क्रमांक** –76 मध्ये एका ताऱ्याच्या प्रकाशाची वर्णपंक्ती दाखवली आहे. त्यांत दोन काळया रेषा दिसताहेत ज्या कॅल्शियमच्या H आणि K रेषा म्हणून ओळखल्या जातात. अशा प्रकारच्या शोषण रेषा ताऱ्यांच्या दरम्यानच्या प्रदेशात वेगवगळया रासायनिक मूलतत्त्वांचे आणि संयुगांचे (Compounds) अस्तित्व दर्शवतात. रेडिओ खगोल-शास्त्राचा उपयोग करून आणखी संयुगे ह्या अंतराळात सापडली आहेत. त्यापैकी काही तर कार्बनिक असून जीवसृष्टीचे घटक समजली जाणारी आहेत. खालील सारणीत अंतराळा-तील आतापर्यंत सापडलेल्या काही प्रमुख तत्त्वांची आणि संयुगांची यादी दिली आहे.

ताऱ्यांदरम्यानच्या अंतराळातील
काही मूलतत्त्वे आणि संयुग

दृश्य प्रगाशाची वर्णपंक्ती	Na I, Ca I, Ca II, K I, Fe I Ti II, CH, CN, CH^+
रेडिओ खगोल शास्त्र	H, OH, H_2O, NH_3, HCHO, HCN, CH_3CN

ज्याप्रमाणे कृष्णाभ्रिका धुळीचे अस्तित्व निदर्शनास आणतात त्याप्रमाणे काही चमकणाऱ्या अभ्रिका वायुचे अस्तित्व दाखवतात. गेल्या प्रकरणात **चित्र क्रमांक** 62, 76, 68 मध्ये अशा काही अभ्रिका आपण पाहिल्या. ताऱ्यांचा जन्म होत असताना नवजात ताऱ्यांमुळं प्रकाशणाऱ्या, किंवा ताऱ्यात लहान स्फोट होऊन त्याच्या भोवती ग्रहाप्रमाणे प्रकाशणाऱ्या किंवा महास्फोटक ताऱ्यातले अवशेष म्हणून प्रकाशणाऱ्या अभ्रिका आपण पाहिल्या. चित्र क्रमांक 77–80 मध्ये आणखी काही अभ्रिका दाखवल्या आहेत.

आकाशगंगेत सर्वात प्रामुख्याने आढळणारे मूलतत्व हायड्रोजन हे दोन स्वरूपात सापडते. पूर्ण अणूच्या रूपात ते H–I भागात असते. हे वायुभाग फार कमी तपमानाचे (सुमारे 100°K) असतात आणि येथे ताऱ्यांची निर्मिती होते. त्या उलट ज्या हायड्रोजन मधले इलेक्ट्रॉन काढून घेण्यात आलेत – म्हणजे जे 'आयोनाइझ' झाले आहे – अशा वायुचे भाग H–II भाग म्हणून ओळखले जातात. हे भाग ताऱ्याच्या आसमंतात तप्त स्थितीत असतात आणि त्याचे इलेक्ट्रॉन काढून घेण्याचे काम त्या ताऱ्यातील अल्ट्राव्हायोलेट प्रकाशामुळे होते. रेडिओ खगोलशास्त्रात हायड्रोजनच्या पूर्ण अणूंचे भाग शोधण्याचे एक सुलभ तंत्र आहे. ते म्हणजे 21से. मी. च्या लहर लांबीचे. जेव्हा हायड्रोजन मधल्या इलेक्ट्रॉनच्या परिवलनाची दिशा अचानक बदलते तेव्हा त्यांतून 21 से. मी. लहर लांबीचे प्रारण बाहेर पडते. ह्या प्रारणा-

द्वारे आकाशगंगेचा कानाकोपरा धुंडाळणे शक्य झाले आहे.

जरी वायु आकाशगंगेत सर्वत्र पसरलेला आहे तरी त्याची घनता पुष्कळ कमी—लिटर मागे हजार ते अब्ज अणु इतकीच असते (म्हणजे पाण्याच्या तुलनेने 10^{-24} ते 10^{-18} पटीने कमी !) त्यामुळे आकाशगंगेचे बहुतेक वस्तुमान ताऱ्यांतच समाविष्ट असते. ते धुळीत आणि वायूत फारच कमी प्रमाणात असते.

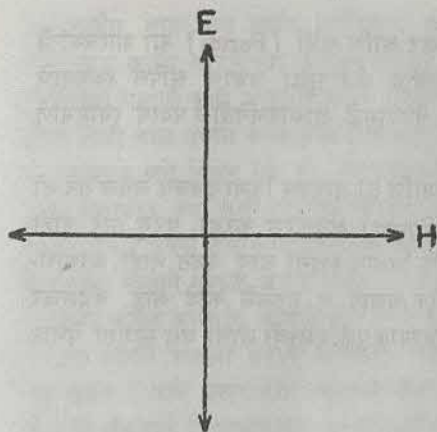
चुंबकीय क्षेत्र

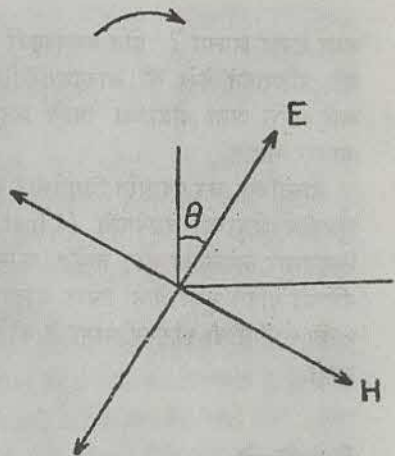
सूर्यमालेच्या निर्मितीच्या संदर्भात आपल्याला चुंबकीय क्षेत्राचा उपयोग झाला होता. हे चुंबकीय क्षेत्र फक्त सूर्यमालेपर्यंतच मर्यादित नसून आकाशगंगेत सर्वत्र पसरलेले आहे. याच्या अस्तित्वाची जाणीव झीमन इफेक्ट (Zeeman Effect) आणि फॅरडे परिभ्रमण (Faraday Rotation) या दोन प्रकारांनी होते. झीमन इफेक्ट मध्ये अणूतल्या इलेक्ट्रॉनची ऊर्जा चुंबकीय क्षेत्रामुळे बदलते. इलेक्ट्रॉनचे परिवलन (Spin) $+\frac{1}{2}$ किंवा $-\frac{1}{2}$ असते आणि त्यामुळे H शक्तीच्या चुंबकीय क्षेत्रात इलेक्ट्रॉनची ऊर्जा

$$\frac{eh}{4\pi mc} H$$ (e = इलेक्ट्रॉनचा विद्युत भार, m = इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमान)

ह्या परिमाणात कमी जास्त होते. त्याचा परिणाम असा होतो की वर्णपंक्तीतील एखादी रेषा दोन रेषात विभागते. त्या दोन रेषातील कंपनसंख्येतला फरक वरील ऊर्जे प्रमाणे, म्हणजे $eH/2\pi mc$ इतका असतो. (प्लँकच्या नियमाप्रमाणे ऊर्जेतल्या कमी जास्त परिमाणाला h ह्या प्लँकस्थिरांकाने भागले की कंपनसंख्येचा कमीजास्तपणा कळतो **पहा प्रकरण–2**). म्हणून हा कंपन संख्येतील फरक मोजून आपल्याला H चे मूल्य कळू शकते.

फॅरडे परिभ्रमणात आपल्यापासून एखाद्या प्रारणस्त्रोताच्या दिशेने असलेल्या चुंबकीय क्षेत्राची माहिती मिळते. **चित्र क्रमांक–16** मध्ये विद्युतच्चुंबकीय समतल लहरीत होणारे फरक दाखवले होते. अशा लहरीत विद्युतक्षेत्रातील बदल एका ठराविक समतलात घडतात आणि चुंबकीय क्षेत्रातील बदल त्या समतलाशी लंबवत् असलेल्या समतलात घडतात. अशा लहरींचे प्रारण जर अंतराळातून प्रवास करत असेल तर वाटेतल्या विद्युत्भार आणि चुंबकीय क्षेत्र यांच्यामुळे त्याच्यातील ह्या दोन समतलांच्या दिशा बदलल्या जातात. चित्र क्रमांक –81 मध्ये हे स्पष्ट केले आहे. त्यावरून असे म्हणता येईल की ह्या दोन समतलांचे आपल्या समाइक रेषेभोवती परिभ्रमण होते हे परिभ्रमण लहरींच्या कंपनसंख्येवर देखील अवलंबून असते. तेव्हा अनेक कंपनसंख्याच्या लहरींचे फॅरडे परिभ्रमण मोजून आपल्याला $n \times H \times L$ हा





चित्र क्रमांक 81 : कागदाच्या लंबवत् दिशेत जाणाऱ्या समतल विद्युच्चुंबकीय लहरीत विद्युत्क्षेत्र (कागदातील) एका दिशने आणि चुंबकीयक्षेत्र (कागदातील) त्याच्या लंबवत् दिशेने बदलत असतात. चित्राच्या पहिल्या भागात हे दाखवले आहे. अशी लहर विद्युतभार आणि चुंबकीय क्षेत्र असलेल्या माध्यमातून जात असताना ह्या दोन्ही दिशा फिरवल्या जातात. त्याला फॅरडे परिभ्रमण म्हणतात. चित्राच्या दुसऱ्या भागात θ कोनाचे परिभ्रमण झाले आहे.

गुणाकार कळतो. इथे n = मार्गातली विद्युत्भारांची घनता (संख्येने), H = मार्गाच्या दिशेने असलेली चुंबकीय क्षेत्राची शक्ती आणि L= प्रारणस्रोताचे आपल्यापासूनचे अतर.

अशा तऱ्हेच्या निरीक्षणांनी आपल्या आकाशगंगेचे चुंबकीय क्षेत्र 10^{-5} ते 10^{-6} गाऊस (Gauss) च्या दरम्यान आहे, असे निदान करण्यात आले आहे. (पृथ्वीतलावर चुंबकीय क्षेत्राची शक्ती 0.32 ते 0.70 गाउसच्या दरम्यान असते.) अशा चुंबकीय क्षेत्राचे काय परिणाम आपल्या आकाशगंगेवर दिसून येतात ?

आकाशगंगेची चकती जर अधिक काळजीपूर्वक न्याहाळली तर असे दिसून येते की तारे सर्वत्र समान घनतेने विखुरलेले नसून त्यांचे वितरण सर्पिल आकाराच्या भुजांत (Spiral Arms) अधिक घनतेने आहे. हे **चित्र क्रमांक – 78** मध्य हे दाखवले आहे. ह्या सर्पिल भुजा

कशा तयार झाल्या ? दोन दशकांपूर्वी चंद्रशेखर आणि फर्मी (Fermi) ह्या शास्त्रज्ञांनी असे प्रतिपादन केले की आकाशगंगेतील चुंबकीय क्षेत्र सुद्धा अशाच सर्पिल स्वरूपाचे आहे आणि अशा क्षेत्राच्या रेषांचे अनुकरण केल्यामुळे आकाशगंगेतील पदार्थ त्याप्रमाणे आकार घेतात.

वास्तविक, जर पदार्थात विद्युतभार असेल आणि तो वायुरूप किंवा द्रवरूप असेल तर तो चुंबकीय क्षेत्राच्या बळरेषांचे (Lines of Force) अनुकरण करतो. परंतु तारे काही विद्युतभार असलेल्या वस्तू नव्हेत. त्यामुळे असे विधान त्यांना लागू पडत नाही. आकाशगंगेच्या सर्पिल भुजा कशा तयार झाल्या हे एक अद्याप न सुटलेले कोडे आहे. चंद्रशेखर आणि फर्मी यांची कारणमीमांसा ते कोडे सोडवण्यात पूर्ण यशस्वी झाली असे म्हणता येणार नाही.

विश्वकिरणे

चुंबक क्षेत्राचा संबंध आणखी एका महत्त्वाच्या गोष्टीशी येतो. ती म्हणजे ज्यांची आपण तिसऱ्या प्रकरणात थोडक्यात चर्चा केली ती विश्व किरणे (Cosmic Rays). ही विश्व किरणे कशाची बनलेली असतात? त्यांनी किती लांबचा प्रवास केलेला असतो ? त्यांचा उगम कुठे होतो ? . . . . . इत्यादी प्रश्नांबद्दल सध्या उपलब्ध असलेल्या माहितीचा आपण थोडक्यात आढावा घेऊ.

विश्व किरणात इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन आणि मोठाले अणुगर्भ असतात. पैकी प्रोटॉन हे सर्वात महत्त्वाचे घटक समजले जातात आणि त्यांची संख्या मोठ्या अणुगर्भांच्या एकंदर संख्येपेक्षा दसपट तरी असतेच. ताऱ्यांच्या तुलनेने पाहिले तर विश्वकिरणात लोखंड, कोबाल्ट आणि निकल ह्या अणुगर्भांचे प्रमाण जास्त आढळून येते. पण त्याहूनही जास्त काही हलके अणुगर्भ, विशेष करून लिथियम, बेरिलियम आणि बोरॉन हे ताऱ्यांपेक्षा विश्वकिरणात प्रामुख्याने दिसतात.

हे ताऱ्यांतले आणि विश्वकिरणांतले फरक आपल्याला विश्व किरणांचा इतिहास समजून घेण्यास मदत करतात. समजा त्यांच्या उगमस्थानी विश्वकिरणात जड आणि हलक्या अणुगर्भांचे एक ठराविक प्रमाण होते. ही विश्वकिरणे जेव्हा आकाशगंगेतून प्रवास करतात तेव्हा ताऱ्यांमधल्या अफाट प्रदेशातील वायू (आणि धूळ) यांच्यातील कणांशी त्यांचा संघर्ष होऊन मोठे अणुगर्भ छोट्यांत विभक्त होतात. अर्थात् आपण आधी पाहिल्याप्रमाणे ताऱ्यांदरम्यानचा प्रदेश बराच मोकळा असल्याने हे संघर्ष फारसे घडून येत नाहीत. आणि त्यामुळे पुष्कळ अंतर प्रवास करून देखील विश्वकिरणांतील मोठे अणुगर्भ बऱ्याच प्रमाणात ह्यात राहतात. त्याचे छोट्या अणुगर्भांशी असलेले प्रमाण मात्र कमी झालेले असते. त्यामुळे

जर कार्बन, नायट्रोजन आणि ऑक्सिजन ह्या बऱ्यापैकी मोठ्या अणुगर्भांची लिथियम, बेरिलियम आणि बोरॉनच्या अणुगर्भांशी जर तुलना केली तर हे प्रमाण विश्वकिरणांत ताऱ्यांच्या मानाने कमी आढळते आणि हे किती कमी आहे त्या वरून विश्वकिरण आकाशगंगेत किती काळ प्रवास करत होते हे मोजता येते.

त्यावरून असे दिसून येते की विश्वकिरणे आकाशगंगेतून सुमारे 30 लाख वर्षे प्रवास करत असावीत. ज्या अर्थी त्यांतील कणांचा वेग प्रकाशवेगाच्या आसपास असतो त्या अर्थी त्यांनी जवळ जवळ तीस लाख प्रकाशवर्ष अंतर तोडले असणार. अर्थात हे अंतर आकाशगंगेच्या व्यापाच्या मानाने पुष्कळ जास्त आहे. त्यामुळे विश्व किरणांना आकाशगंगेतच घिरट्या माराव्या लागत असणार. यामुळे दोन प्रश्न उद्‌भवतात.

एक म्हणजे इतक्या वेगाने जाणाऱ्या विश्व किरणांना आकाशगंगेतच डांबून ठेवणारे बळ कुठले ? याचे उत्तर आहे 'चुंबकीय क्षेत्र'! आपण **चित्र क्रमांक–17** मध्ये पाहिले की चुंबकीय क्षेत्रामुळे विद्युतभारावर त्याच्या गतीच्या लंबवत् दिशेने एक बळ काम करते. अशा बळामुळे विद्युतभाराच्या वेगावर परिणाम होत नाही पण त्याची दिशा बदलते. आकाशगंगेतले चुंबकीय क्षेत्र अशा प्रकारे विश्व किरणांची दिशा बदलू पाहते. अर्थात् ही दिशा पुरेशी बदलल्याशिवाय विश्वकिरणांना आकाशगंगेत डांबून ठेवता येणार नाहीं. चुंबकीय क्षेत्राची शक्ती, विश्वकिरणांचा वेग आणि आकाशगंगेचा व्याप लक्षात घेऊन गणित मांडल्यास असे आढळून येते की फार तर

$$5\times10^{18}$$ इलेक्ट्रॉन व्होल्ट

ह्या ऊर्जेच्या मर्यादेपर्यंतचे विश्व किरणातले मूलकण आकाशगंगेत डांबून ठेवणे शक्य आहे. आजवरच्या प्रयोगांत 10^{20} इलेक्ट्रॉन व्होल्टहून जास्त ऊर्जेचे मूलकण सापडले आहेत. तेव्हा हे मूलकण आकाशगंगेत डांबून ठेवणे शक्य नाही हे उघड आहे. विश्व किरणे ही आपल्या आकाशगंगेपर्यंतच मर्यादित नसावीत हे यावरून दिसून येते. परंतु अजून हा विवाद्य विषय आहे आणि गिन्सबर्ग (Ginzburg) सारख्या अनुभवी खगोलशास्त्रज्ञाचा 'विश्वकिरणे आकाशगंगेतच मर्यादित आहेत' असा दावा आजही आहे !

दुसरा प्रश्न उद्‌भवतो तो विश्व किरणांच्या उगमस्थानांसंबंधी. विश्वकिरणे सतत आकाशगंगेत असतात असे गृहीत धरले तर स्थिरस्थितीत ज्या प्रमाणात त्यांचा क्षय होतो त्या प्रमाणातच त्यांचा पुरवठा पण व्हायला हवा. आपण पाहिले की सुमारे 30 लाख वर्षांत कार्बन, ऑक्सिजन, नायट्रोजन सारख्या अणुगर्भांच्या विश्वकिरणातील परिमाणात बराच क्षय झालेला असतो. त्यामुळे ह्याच काळात तो भरून काढण्यासाठी त्यांचा पुरवठा झाला पाहिजे. तसे नसते तर आजवरच्या अब्जावधि वर्षांच्या काळात विश्वकिरणांचा पूर्ण ऱ्हास झाला

एन ४२६३—१०अ

असतो.

हा पुरवठा करायला योग्य उगम स्थाने महास्फोटक ताऱ्यांत आणि त्यांच्या अवशेषातून-तयार झालेल्या पल्सार ताऱ्यांत आहेत असे मानले जाते. एकंदर विश्वकिरणांत किती ऊर्जा आहे हे पाहिले तर तिचा पुरवठा कायम ठवणे ह्या उगमस्थानांना अशक्य नाहीं असे ह्या बाबतीतले गणित सांगते. परंतु एक महत्त्वाची अडचण अशी आहे. महास्फोटक ताऱ्यांतून ऊर्जेचे प्रक्षेपण होते पण ते बहुतेक हलक्या मूलकणातून. इलेक्ट्रॉन आणि न्यूट्रिनो हे मूलकण बहुतेक ऊर्जा घेतात. त्यामुळे विश्वकिरणात 10^{20} इलेक्ट्रॉन व्होल्ट पर्यंत ऊर्जा असलेले प्रोटॉन कुठून ही ऊर्जा मिळवतात ते कळत नाही ; पल्सार तारे सुद्धा मूलकणांत त्वरण घडवून आणून त्यांची ऊर्जा वाढवतात. पण ते सुद्धा इतक्या उच्च पातळीवरची ऊर्जेची मर्यादा गाठू शकत नाहीत.

त्यामुळे अतिशय जास्त ऊर्जेचे विश्व किरण कुठे तयार होत असतील हे कोडे अजून सुटले नाहीं. कदाचित त्यासाठी महास्फोटक ताऱ्यांपेक्षा अधिक प्रचंड ऊर्जास्रोतांची आवश्यकता असेल. असे ऊर्जास्रोत आपल्या आकाशगंगेत दिसून येत नाहीत.

आता आपण आकाशगंगेबाहेरील विश्वाकडे नजर टाकूया. तिथे अतिप्रचंड ऊर्जास्रोत आढळून येत आहेत. त्या संदर्भात आपण पुन्हा विश्वकिरणांच्या उगमांच्या प्रश्नाकडे परत येऊ.

तारकाविश्वांचे प्रकार

चित्र क्रमांक – 73 मध्य देवयानी तारका विश्व (Andromeda Galaxy) हा आपल्या आकाशगंगेसारख्या दिसणाऱ्या तारकाविश्वाचा नमुना पाहिला होता. आजवर निरीक्षणाद्वारे विश्वात अब्जावधि तारकाविश्वे, आपल्या निरीक्षण यंत्रांच्या मर्यादेपर्यंत तरी असल्याचे दिसून येत आहे. यांची ताऱ्यांप्रमाणे वर्गवारी करण्यात खगोलशास्त्रज्ञांनी यश मिळवले आहे. यामागचा हेतू अर्थात् तारका विश्वांची निर्मिती, वयानुसार त्यांत घडणारे बदल इत्यादी प्रश्नांवर ताऱ्यांप्रमाणेच माहिती मिळवणे हा आहे. तो मात्र अजून साध्य झाला नाहीं. येथे आपण तारकाविश्वांच्या वेगवेगळ्या प्रकारांबद्दल माहिती करून घेऊ.

सर्पिल तारका विश्वे – यांच्यात आपल्या आकाशगंगेप्रमाण सर्पिल भुजा असतात. चित्र क्रमांक 82 मध्ये अशा काही तारका विश्वांची छायचित्रे दाखवली आहेत. त्यांत तारका विश्वांचे तालिका क्रमांक दिले आहेत. ही तालिका 1888 मध्ये ड्रयर (Dreyer) याने सुरू केली आणि ती New General Catalogue ह्या नावाने विशेषकरून त्याच्या आद्याक्षरानी (NGC) ओळखली जाते. आणखी एक तालिका मेसियर (Messier) याने सुरू केलेली आणि M ह्या अक्षराने ओळखली जाणारी देखील रूढ आहे. ह्या तालिकांत अभिका, मोठे तारकापुंज, इ. समाविष्ट आहेत. म्हणज फक्त तारकाविश्वानांच ती वापरण्यात

येते असे नव्हे.

सर्पिल तारकाविश्वांची वर्गवारी करण्यात आली आहे. आपल्या आकाशगंगेप्रमाणे सर्वसाधारण तारकाविश्वात मधे फुगलेला भाग व बाजूला चकती असा प्रकार आढळतो. ज्यांत फुगलेला भाग बहुतेक जागा व्यापतो अशांना लेंटीक्यूलर (Lenticular) तारकाविश्वे म्हणतात व त्यांना SO ह्या चिन्हाने दर्शवतात. त्यानंतर फुग्याच्या मानाने चकतीचा व्याप जसा वाढत जातो तसे त्या तारकाविश्वांना Sa, Sb, Sc. . . अशा अनुक्रमात बसवण्यात येते. आपली आकाशगंगा Sb च्या आसपास आहे. **चित्र क्र. – 82** मधे हे वेगळे प्रकार दाखवले आहेत. अर्थात आपल्या आकाशगंगेत सर्पिल भुजा आहेत हे निरीक्षणाद्वारे प्रस्थापित करायला बरीच मेहनत घ्यावी लागली. पण इतर सर्पिल तारका-विश्वांकडे आपण बाहेरून पहात असल्याने त्यांचे आकार चटकन कळून येतात.

वक्रगोल तारकाविश्वे – यांचे आकार नावा प्रमाणे वक्रगोल (Elliptical) स्वरूपाचे असतात. यांची वर्गवारी, E0, E1. . . .E7, अशी आहे. पैकी E0 ही गोलाकार आकृती दर्शवते तर हा अनुक्रम वाढत्या वक्रत्वाच्या दिशेने आहे. E0 हे तारकाविश्व सर्व-साधारणपणे सर्वाधिक वस्तुमानाचे असते. आपल्या तारकाविश्वाच्या दसपटीने जास्त वस्तुमानाची E0 तारकाविश्वे सामान्यपणे असतात असे दिसून आले आहे. **चित्र क्रमांक-83** मध्ये NGC 4486 हे एक E0 तारका विश्व दाखवले आहे.

ताऱ्यांप्रमाणे तारकाविश्वांचे समूह असतात. अशा समूहात प्रामुख्याने सर्पिल तारका-विश्वे व त्या नंतर वक्रगोल तारकाविश्वे असतात. बहुतेक अशा समूहात E0 हा एकटा (माशांच्या कळपात राणीमाशी प्रमाणे) प्रामुख्याने दिसतो. आणि असे वेगवेगळे तारका विश्वांचे समूह पाहिले तर त्यांतील प्रमुख E0 तारकाविश्वांचे दीप्तिस्रोत सारखे आढळून आले आहेत. ह्याचा उपयोग लांबच्या तारकाविश्वांची अंतरे मोजण्यात कसा केला जातो ते आपण पुढे पाहू.

वस्तुमान आणि दिप्तीस्रोत यांचे गुणोत्तर पाहिले तर वक्रगोल तारकाविश्वांत ते सर्पिल तारका विश्वांपेक्षा जास्त असल्याचे दिसून येते. याचे कारण वक्रगोल तारकाविश्वात बहुतेक तारे म्हातारपणाला पोचलेले असतात आणि त्यामुळे त्यांतून वस्तुमानाच्या मानाने प्रकाश कमी येतो. सर्पिल तारकाविश्वातील तारे वयाने लहान असतात. त्याचप्रमाणे वायू आणि धूळ यांचे प्रमाण देखील सर्पिलां पेक्षा वक्रगोलांत कमी असते.

याचा अर्थ असा मात्र नव्हे की वक्रगोल तारकाविश्वे फारच शांत स्थितीत आयुष्य जगत आहेत. उलट त्यांच्या केंद्रस्थानी स्फोटक प्रकार घडत असल्याची चिन्हे दिसून येतात. **चित्र क्र. – 83** मधले E0 तारकाविश्व याला अपवाद नाहीं. आपण ह्या स्फोटक घटनांची दखल पुढे घेऊ.

सीफर्ट आणि N – तारकाविश्वे – 1943 मध्ये सीफर्ट (Seyfert) नावाच्या खगोल

शास्त्रज्ञाने एका विशेष प्रकारच्या तारकाविश्वाचा शोध लावला. ह्या तारकाविश्वाचे केंद्रस्थान (Nucleus) अतिशय घन असून तान्यांप्रमाणे चमकते. अशी तारकाविश्वे सर्पिल तारकाविश्वांच्या संख्येच्या एकदोन टक्के इतकीच असतील. परंतु इन्फारेड मध्ये तीतून बराच दीप्तिस्रोत येतो असे आढळून आले आहे. उदाहरणार्थ आपल्या आकाशगंगेतून दृश्य प्रकाशात जेवढा दीप्तिस्रोत येतो त्याच्या शंभरपटीने हा दिप्तीस्रोत असू शकतो! अलिकडे ह्या तारकाविश्वांचा संबंध क्वेसार (ज्यांची चर्चा लवकरच केली जाणार आहे) यांच्याशी जोडण्यात येतो. **चित्र क्रमांक –84** मध्ये असे एक तारकाविश्व दाखवले आहे.

क्वेसार यांच्याशी साम्य असणाऱ्या आणखी एक प्रकारच्या तारकाविश्वाची नोंद येथे करणे आवश्यक आहे. ह्या तारकाविश्वांना N ह्या अक्षराने संबोधण्यात येते. यांची केंद्र-स्थाने पण अतिशय घन आणि चमकदार असून त्यांच्या बाहेरील पार्श्वभूमीवर ती उठून दिसतात. सीफर्ट आणि N–तारका विश्वात दोन प्रमुख फरक असे. सीफर्ट पेक्षा N–तारका-विश्वांची ताम्र सृती (Red Shift) बरीच जास्त असते. (ताम्रसृतीची चर्चा डॉप्लर प्रभावाच्या संदर्भात प्रकरण -2 मध्ये केली होती.) शिवाय N–तारकाविश्वातून रेडिओ प्रारण बाहेर पडते. रेडिओ प्रारणाच्या स्रोतांची चर्चा पण ह्या प्रकरणात केली जाईल.

अनियमित (Irregular) आकाराची तारकाविश्वे – एकंदरीत सर्व तारकाविश्वात सुमारे 50 टक्के तारकाविश्वे सर्पिल वर्गवारीत बसतात तर 10 टक्के वक्रगोलाकार असतात. इतर प्रकारची तारकाविश्वे थोडया थोडया प्रमाणात सापडतात. त्यापैकी दोन प्रकारांची आपण वर दखल घेतली. अशाच काही तारका विश्वांना, त्यांत काही वैशिष्टय आढळून न आल्याने 'अनियमित' असे नाव दिले आहे. **चित्र क्रमांक –85** मध्ये दाखवलेले M–82 हे तारकाविश्व अशा प्रकारचे आहे. अशी तारकाविश्वे वयाने लहान असून ती सर्पिल आकारात यावयाची आहेत असे काही खगोलशास्त्रज्ञ म्हणतात. त्याउलट काहींचे म्हणण ही तारका-विश्वे मोडकळीला आलेली असून त्यांच्या आयुष्याचा शेवट होत आहे !

एकंदरीतच सर्व तारकाविश्वांचा आढावा घेतला तर असे म्हणता येईल की अजून आप-ल्याला त्यांच्या निर्मितीची, परस्परसंबंधांची, वयोमानाप्रमाणे त्यांच्यात घडणाऱ्या बदलांची, त्यांच्या विनाशाची काहीच माहिती नाही ! हा एकंदर विषय अजून प्राथमिक अवस्थेत आहे. जरी असे म्हटले की तारकासमूहाप्रमाणे तारकाविश्वांचा समूह एका अतिविशाल वायुमेघाच्या संघटणाने तयार होतो तरी त्यांत एक अडचण आहे. एकंदर विश्वच प्रसरण पावत आहे असे दिसून आले आहे. आणि अशा प्रसरणातून संघटण होणार कसे ?

विश्वाचे प्रसरण हा काय प्रकार आहे याची चर्चा पुढल्या प्रकरणात करू. परंतु त्याच्या मुळाशी असलेल्या तारकाविश्वांच्या ताम्रसृतीची माहिती आत्ता करून घेणे आवश्यक आहे.

तारकाविश्वांची ताम्रसृती

1920–1930 च्या काळात ज्याप्रमाणे खगोल शास्त्रज्ञांना आपल्या आकाशगंगेबाहेरील विश्वाचे ज्ञान झाले त्याचप्रमाणे आणखी एक महत्त्वाचा शोध त्यांना ह्या दशकाअखेर लागला. 1928 मध्ये माउंट विल्सनवरील 100 इंच व्यासाची दुर्बीण वापरून एडविन हबल (Edwin Hubble) याने हा शोध लावला. त्याला ह्या लांबच्या तारकाविश्वांच्या वर्णपंक्तीत ताम्रसृती आढळून आली. म्हणजे जर त्या वर्णपंक्तीत काही ठराविक शोषण रेषा $\lambda_1, \lambda_2 \ldots$ अशा लहर लांबीवर अपेक्षित असतील तर त्या

$$\lambda_1 \ (1+z), \ \lambda_2 \ (1+z) \ldots$$

अशा वाढलेल्या लहरलांबीवर आढळल्या. याचाच अर्थ त्या तारकाविश्वांची वर्णपंक्ती ताम्रवर्णाकडे सरकली होती. z ह्या लहर लांबीच्या वाढीच्या प्रमाणाला ताम्रसृती म्हणतात.

हबल ला सापडलेली ताम्रसृती त्या तारकाविश्वाच्या अंतराच्या समप्रमाणात वाढत होती हा आणखी एक महत्वाचा निष्कर्ष त्याने काढला. प्रकरण–२ मध्ये आपण पाहिल्याप्रमाणे जर ही ताम्रसृती डॉप्लर प्रभावामुळे असेल तर न्युटनच्या गतीच्या नियमाप्रमाणे ते तारकाविश्व आपल्यापासून

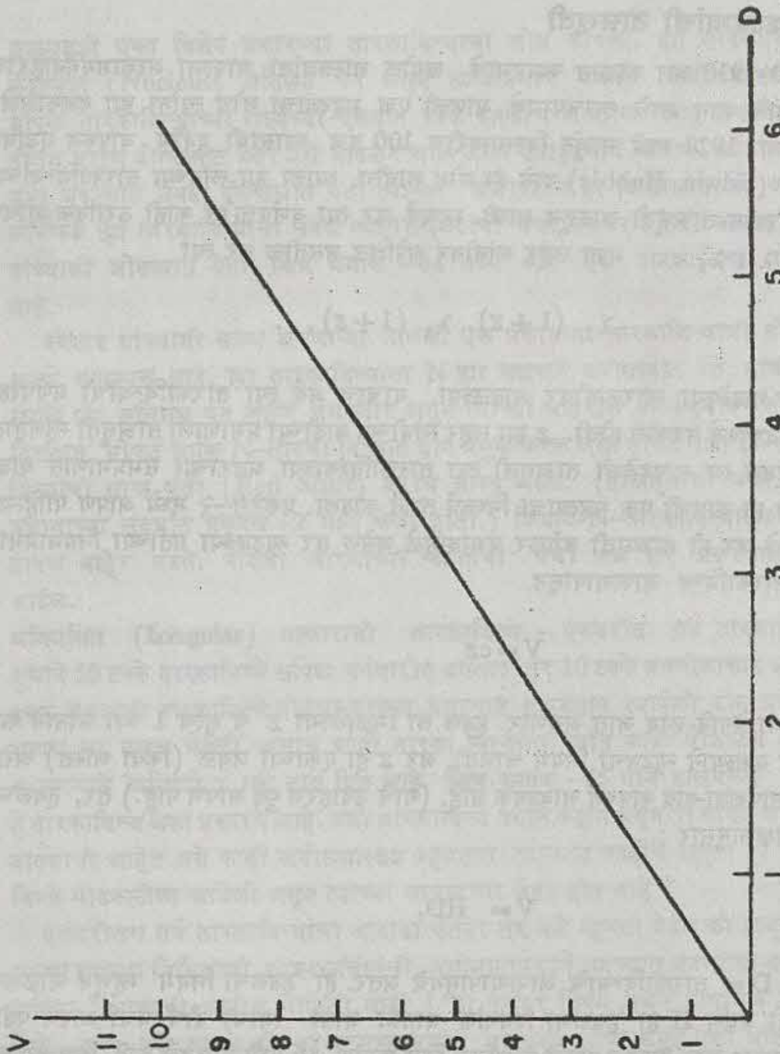
$$V = cz$$

इतक्या वेगाने लांब जात असणार. हबल ला मिळालेल्या z चे मूल्य 1 च्या मानाने फार कमी असल्याने न्यूटनचा नियम चालतो. जर z हा एकाच्या जवळ (किंवा जास्त) असेल तर सापेक्षता-वाद वापरणे आवश्यक आहे. (याचे उदाहरण पुढे आपण पाहू.) तर, हबलच्या निरीक्षणानुसार :

$$V = HD.$$

येथे D= तारकाविश्वाचे आपल्यापासूनचे अंतर. हा 'हबलचा नियम' म्हणून ओळखला जातो आणि H हा 'हबलचा स्थिरांक' मानला जातो. त्याची दीर्घ चर्चा आपण पुढील प्रकरणात करू. हबलचे पहिले रेखाचित्र चित्र-क्रमांक–86 मध्ये दाखवले आहे. चित्र क्रमांक–87 मध्ये काही तारकाविश्वांच्या ताम्रसृती झालेल्या वर्ण पंक्ती दाखवल्या आहेत.

हबलचा नियम त्याने प्रथम मांडला तेव्हा ताम्रसृती .005 पेक्षा जास्त नव्हती. आता माहीत असलेली सर्वात जास्त ताम्रसृती (तारकाविश्वांची) 0.7 च्या आसपास आहे तर



चित्र क्रमांक 86 : हबलच्या पहिल्या निरीक्षणांतून निघालेला निष्कर्ष वरील रेखाचित्रात दर्शवला आहे. तारकाविश्वांचा आपल्यापासून दूर जाण्याचा वेग(V), 100 कि. मी. प्रति सेकंद ह्या एककात मोजला आहे. हबलची मजल .003 इतक्याच ताम्रसृती पर्यंत गेली होती. त्याने मोजलेली अंतरे (D) प्रकाशवर्षात दिली आहेत. पुढे त्यांत चूक दिसून आली आणि ही अंतरे 7 ते 10 पटी ने वाढवावी लागली.

क्वेसार्सची त्याच्या ही पाचपटीने आहे ! इतक्या मोठ्या ताम्रसृती पर्यंत हबलचा नियम लागू आहे का ? याची आपण सविस्तर चर्चा पुढील प्रकरणात करू. आत्ता, जाता जाता फक्त इतकेच नमूद करावे की हा नियम तारकाविश्वांना जितका निस्संदिग्धपणे लागू आहे तितका क्वेसार्स ना नाही.

अर्थात हबलचा नियम पडताळून पाहण्यासाठी आपल्याला लांबच्या तारकाविश्वांची अंतरे मोजता आली पाहिजेत. ही अंतरे कशी मोजायची ? आपण पाहिले की ग्रहांची अंतरे मोजायला जे मार्ग प्रकरण –4 मध्ये वापरले त्यापेक्षा वेगळे मार्ग ताऱ्यांची अंतरे मोजायला प्रकरण –5 मध्ये वापरावे लागलें कारण ताऱ्यांची अंतरे ग्रहांपेक्षा पुष्कळ जास्त आहेत. त्याच प्रमाणे आता आपण आपल्या आकाशगंगे बाहेरील अंतरे मोजायला कोणते नवे मार्ग अवलंबण्यात येतात तें पाहू.

सर्वसाधारण पणे हीं अंतरे मोजताना हे वेगवेगळे एकक डोळ्यासमोर ठेवावेत :

वस्तू	एकक	से. मी.
ग्रह	A. U.	$\sim 1.5 \times 10^{15}$
तारे	pc	$\sim 3 \times 10^{18}$
तारकाविश्वे	Mpc	$\sim 3 \times 10^{24}$

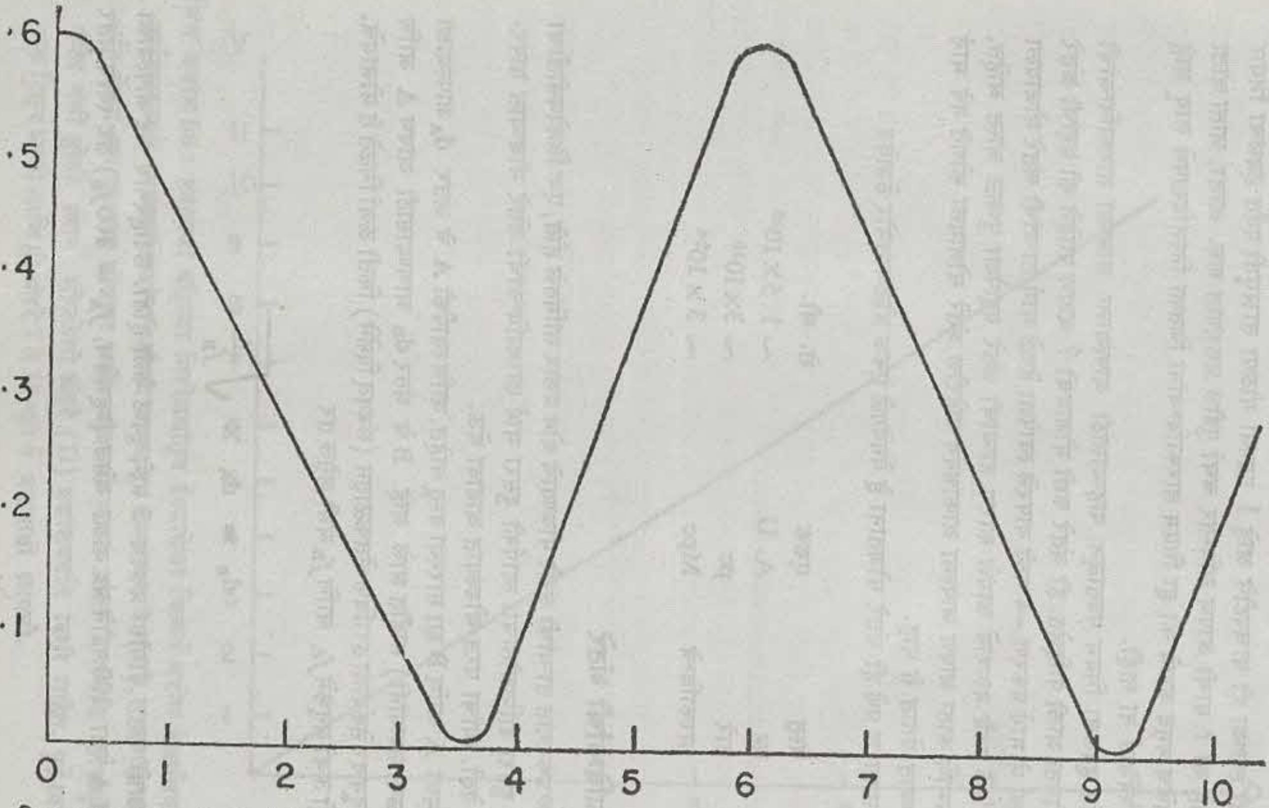
तारकाविश्वांची अंतरे

मागील प्रकरणात ताऱ्यांची अंतरे मोजण्याचे दोन प्रकार सांगितले होते, एक त्रिकोणमीतीचा आणि दुसरा दीप्तिस्रोताचा. त्यापैकी दुसरा मार्ग तारकाविश्वांचीं अंतरे मोजण्यास वापरण्यात येतो. त्यांचा परत थोडक्यात आढावा घेऊ.

समजा A आणि B ह्या सारख्या वस्तू आहेत, आणि त्यापैकीं A चे अंतर d_A आपल्याला (वेगळ्या उपायांनी) माहीत झाले आहे. B चे अंतर d_B जाणण्यासाठी आपण A आणि B कडून दर सेकंदाला ठराविक क्षेत्रफळातून (लंबवत् दिशेने) किती ऊर्जा मिळते ते मोजायचे. जर ही ऊर्जा अनुक्रमे f_A आणि f_B अशी असेल तर

$$d_B = d_A \times \sqrt{\frac{A}{f_B}}$$

यामागची कारण मीमांसा प्रकरण–5 मध्ये स्पष्ट केली होती. उदाहरणार्थ जर आपल्याला B हा A पेक्षा 100 पटीने मंद वाटत असेल (म्हणजेच, $f_A = 100 f_B$) तर त्याचे अंतर



चित्र क्रमांक 88 : δ Cephei ह्या ताऱ्याच्या प्रकाशात होणारा बदल वरील रेखाचित्रात दाखवला आहे. x– अक्षावर दिवस आणि y– अक्षावर अभिव्यक्तप्रतीत होणारा बदल दर्शवले असून त्यावरून ताऱ्याचा आवृत्तिकाल 5.37 दिवस आहे असे दिसते.

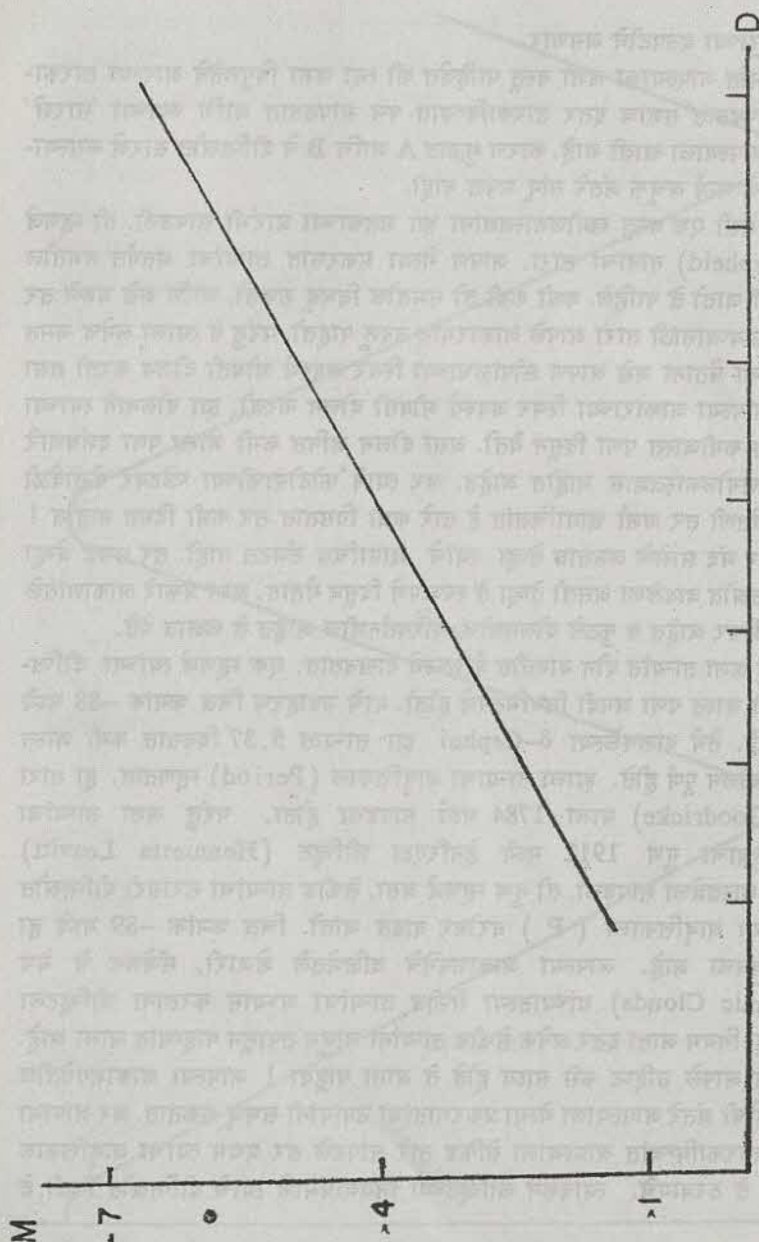
A च्या अंतराच्या दसपटीने असणार.

ह्या संदर्भात आपल्याला अशा वस्तू पाहिजेत की त्या जशा विपुलतेने आपल्या तारकाविश्वात सापडतात तशाच इतर तारकाविश्वात पण सापडतात आणि ज्यांच्या 'सारखे' पणा बद्दल आपल्याला खात्री आहे. कारण मुळात A आणि B चे दीप्तिस्रोत सारखे असल्याशिवाय वरील मार्ग अचूक अंतरे सांगू शकत नाही.

सुदैवाने अशी एक वस्तू खगोलशास्त्रज्ञांना ह्या शतकाच्या प्रारंभी सापडली. ती म्हणजे सेफीड (Cepheid) नावाचा तारा. आपण गेल्या प्रकरणात ताऱ्यांचा अंतर्गत समतोल कसा राखला जातो ते पाहिले. कधी कधी तो समतोल बिघडू शकतो, आणि असे घडले तर तो परत मिळवण्यासाठी तारा आपले आकारमान बदलू पाहतो. परंतु ते त्याला लगेच जमत नाहीं ! झोका घेताना जसे आपण झोपाळयाच्या स्थिर अवस्थे भोवती दोलन करतो तसा तारा पण आपल्या आकाराच्या स्थिर अवस्थे भोवती दोलन करतो. ह्या दोलनाने त्याच्या दीप्तिस्रोतात कमीजास्त पणा दिसून येतो. असा दोलन जनित कमी जास्त पणा दर्शवणारे बरेच तारे खगोलशास्त्रज्ञास माहीत आहेत. जर त्याने फोटोग्राफीच्या प्लेटवर वेळोवेळी छायाचित्रे घेतली तर अशा छायाचित्रांत हे तारे कधी दिसतात तर कधी दिसत नाहीत ! जेव्हा ते फार मंद झालेले असतात तेव्हा त्यांचे छायाचित्र उमटत नाहीं. तर उलट जेव्हा त्यांचा दीप्तिस्रोत वाढलेला असतो तेव्हा ते स्पष्टपणे दिसून येतात. अशा प्रकारे आकाशातले कुठले तारे स्थिर आहेत व कुठले दोलनशील, परिवर्तनशील आहेत ते लक्षात येते.

सेफीड हे अशा ताऱ्यांत दोन बाबतीत वैशिष्टये दाखवतात. एक म्हणजे त्यांच्या दीप्तिस्रोतात कमी जास्त पणा अगदी नियमितपणे होतो. याचे उदाहरण चित्र क्रमांक –88 मध्ये दाखवले आहे. तेथे दाखवलेल्या δ–Cephei ह्या ताऱ्यात 5.37 दिवसात कमी जास्त पणाचे एक दोलन पूर्ण होते. ह्याला ताऱ्याचा आवृत्तिकाल (Period) म्हणतात. हा तारा गुडरिक (Goodricke) याला 1784 मध्ये सापडला होता. परंतु अशा ताऱ्यांचा दुसरा महत्त्वाचा गुण 1912 मध्ये हेनरिएटा लीव्हिट (Hennietta Leavitt) ह्या खगोल शास्त्रज्ञेला सापडला. तो गुण म्हणजे असा. सेफीड ताऱ्यांचा सरासरी दीप्तिस्रोत L हा त्याच्या आवृत्तिकाला (P) बरोबर वाढत जातो. चित्र क्रमांक –89 मध्ये हा नियम दाखवला आहे. आपल्या आकाशगंगेचे दक्षिणेतले शेजारी, मॅजेलन चे मेघ (Megellanic Clouds) यांच्यातल्या सेफीड ताऱ्यांचा अभ्यास करताना लीव्हिटला गवसलेला हा नियम आता इतर अनेक सेफीड ताऱ्यांना लावून तपासून पाहण्यात आला आहे.

त्यावरून आपले उद्दिष्ट कसे साध्य होते ते आता पाहूया ! आपल्या आकाशगंगेतील सेफीड ताऱ्यांची अंतरे आपल्याला गेल्या प्रकरणातल्या उपायांनी समजू शकतात. जर आपल्या शेजारच्या तारकाविश्वांत आपल्याला सेफिड तारे सापडले तर प्रथम त्यांचा आवृत्तिकाल किती आहे ते ठरवायचे. त्यावरून लीव्हिटच्या नियमाप्रमाणे त्याचे दीप्तिस्रोत किती ते



चित्र क्रमांक 89 : सेफीड ताऱ्यांची सरासरी निरपेक्ष प्रत (दृश्य प्रकाशात येणारा दीप्तिस्रोत) M ही आवृत्तिकालाप्रमाणे वाढत जाते हा नियम वरील रेखाचित्रात दर्शवला आहे. आवृत्तिकाल D हा दिवसात मोजून Log – श्रेणीवर मांडला आहे.

कळू शकते. आणि त्या प्रमाणे तेवढ्याच दीप्तिस्रोतांच्या आपल्या आकाशगंगेतील सेफीड ताऱ्यांशी त्यांची तुलना करून वर सांगितल्याप्रमाणे आपल्याला त्यांचे (म्हणजेच ते ज्या तारकाविश्वात आहेत त्याचे) आपल्यापासूनचे अंतर कळते. ह्याच मार्गाने M31, M33, NGC–6822 इत्यादी तेजःपुंजांची अंतरे आपल्या पासून मोजण्यात हबलने यश मिळवले. ही इतकी मोठी अंतरे होती की ह्या वस्तू आपल्या आकाशगंगे बाहेर आहेत ह्या विधानाला पुष्टी मिळाली. विश्व हे आपल्या आकाशगंगे बाहेर पण पसरलेले आहे हे खगोल शास्त्रज्ञाला अशाच प्रकारच्या निरीक्षणांनी पटायला लागले.

सेफीड तारे, त्यांच्या दीप्तिस्रोत कमी जास्त होत असल्याने जरी लवकर ओळखू येतात तरी वरील पद्धतीचा उपयोग अधिक लांबच्या तारकाविश्वांबाबत करता येत नाहीं. कारण फार लांबचे सेफीड तारे मंद असल्याने शोधणे कठीण असते. अशा पुष्कळ लांबच्या तारकाविश्वातले सर्वात तेजस्वी तारेच फक्त आपल्याला इथून स्पष्ट दिसू शकतात. कुठल्याही तारका विश्वातला सर्वात तेजस्वी (म्हणजे सर्वात कमी निरपेक्ष प्रत असलेला) तारा जर निवडला तर एक गोष्ट आढळते. असे वेगवेगळ्या तारका विश्वातले सर्वात तेजस्वी तारे जवळ जवळ सारख्या दीप्तिस्रोताचे असतात. तेव्हा आपल्याला दीप्तिस्रोताची पद्धत अशा ताऱ्यांबद्दल वापरून लांबच्या तारकाविश्वांची अंतरे मोजता येतात.

परंतु ह्या पद्धतीवरही अंतराच्या मर्यादा आहेत. व्हर्गो (Virgo) तारकाविश्वसमूहातील तारकाविश्वांची अंतरे मोजताना खुद्द हबल यानेच चूक केली. त्याने अशा तारकाविश्वांतले सर्वात तेजस्वी तारे म्हणून ज्यांची निवड केली ते तारे नसून मृग (Orion) सारखे तेजोमेघ होते. चि. क्र. 62 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे हे तेजोमेघ एका ताऱ्यापेक्षा अधिक प्रकाशवान, अनेक ताऱ्यांच्या प्रकाशाने भरलेले असतात. त्यामुळे अशा तारकाविश्वांची अंतरे हबलने मोजली त्यापेक्षा जास्त आहेत, असे आता आढळून आले आहे !

सॅण्डेज (Sandage) नावाच्या खगोल शास्त्रज्ञाने त्यावर एक नवीन तोड शोधून काढली. आपण पूर्वी ज्यांची चर्चा केली ते H II भाग हे तेजःपुंज असून आयोनाइझ झालेल्या हायड्रोजनचे बनलेले असतात. याचे दीप्तिस्रोत सर्वसाधारणपणे समान आढळून आल्याने त्याने लांबच्या तारकाविश्वात असे H II भाग शोधून, त्यांची आपल्या आकाशगंगेच्या भागांशी तुलना करून त्या तारकाविश्वांची अंतरे मोजण्यास सुरवात केली.

शिवाय सॅण्डेजच्या पाहणीप्रमाणे Sc तऱ्हेच्या सर्पिल तारकाविश्वापैकी सर्वात तेजस्वी तारकाविश्वे सुद्धा दीप्तिस्रोतात बरीच सारखी असतात. त्यामुळे आणखी लांबची अंतरे मोजायला अशा ताराविश्वांचा वापर करता येतो. त्याच प्रमाणे वक्रगोल तारकाविश्वांच्या चर्चेत आपण EO ह्या तारकाविश्वाबाबत असेच पाहिले होते. अशा प्रकारे लांबलांबची अंतरे मोजायला खालील साखळीचा अवलंब केला जातो :

त्रिकोणमिती (पराशय)



H – R रेखाचित्र



सेफीड



सर्वात तेजस्वी तारे



H – II भाग



सर्वात तेजस्वी Sc तारकाविश्वे



वक्रगोल तारकाविश्वे EO



हबलचा नियम (?)

ह्यां पैकी पहिले दोन टप्पे ताऱ्यांपर्यंतच मर्यादित आहेत तर शेवटचा टप्पा, जर हबलचा नियम शेवटपर्यंत लागू होत असेल तर आपल्याला सध्याच्या निरीक्षणाच्या मर्यादेपयत नेऊन सोडतो !

रेडिओ लहरींचे स्रोत

आपण इतका वेळ आपली चर्चा दृश्य प्रकाशाच्या खगोलशास्त्रापर्यंतच मर्यादित ठेवली होती. परंतु आकाशगंगा आणि तिच्या बाहेरील विश्व यांबद्दल महत्त्वाची माहिती ज्या इतर मार्गांनी उपलब्ध होत आहे त्यांत रेडिओलहरींचा महत्त्वाचा वाटा आहे. 21 से.मी. लहरलांबीच्या रडिओ लहरींनी आकाशगंगेतील हायड्रोजन अणूंबद्दल महत्त्वाची माहिती मिळते हे आपण पूर्वीच पाहिले या लहरींद्वारे अशा हायड्रोजनचे साठे इतर तारकाविश्वांतही मिळाले आहेत. आणि अलिकडेच लांबच्या तारकाविश्वांतून येणाऱ्या अशा लहरींतली ताम्रसृती शोधून काढण्यातपण खगोल शास्त्रज्ञांना यश मिळाले आहे.

परंतु प्रचंड प्रमाणावर रेडिओ लहरींचे उत्पादन करणारे रेडिओ लहरींचे स्रोत वेगळयाच मार्गाने अशा लहरी तयार करतात. प्रकरण–2 मध्ये जे प्रारणाचे वेगवेगळे प्रकार आपण पाहिले त्यांत सिंक्रोट्रॉन-प्रारणाचा उल्लेख होता. चुंबकीय क्षेत्रामुळे विद्युत्भारांत त्वरण निर्माण

होते आणि त्या त्वरणांतून रेडिओ लहरींचे प्रारण येते. ह्या प्रारणात दिशादेशन (Polarization) हा एक गुण असतो – म्हणजे चुंबकीय लहरी एका समतलात आणि विद्युत्लहरी दुसऱ्या समतलात असा विद्युच्चुंबकीय लहरींचा प्रकार असतो. चित्र क्रमांक–16 मध्ये दाखवलेली लहर अशा प्रकारची आहे.

दुसऱ्या महायुद्धापूर्वी जान्स्की (Jansky) नावाचा खगोल शास्त्रज्ञ आणि तंत्रज्ञ याने रेडिओ लहरींद्वारे विश्वाचे वेध घेण्याचे उपकरण तयार केले. 1946 मध्ये हे (Hey) पार्सन्स (Parsons) आणि फिलिप्स (Philips) या तिघांनी कर्क राशीत (Cygnus) एका ठिकाणाहून रेडिओ लहरींचे प्रारण येताना 'पाहिले'. हे प्रारण वर सांगितल्याप्रमाणे होते. आणि त्याच्या उगमस्थानाला 'सिग्नस ए' (Cygnus A) असे नाव देण्यात आले.

त्यानंतर असे रेडिओ लहरींचे स्रोत अनेक सापडले. त्यापैकी काही आपल्या आकाशगंगेच्या चकतीच्या भागात होते आणि ते आपल्याच आकाशगंगेचे घटक असावेत असा तर्क करण्यात आला. उदाहरणार्थ रेडिओ लहरींचे प्रारण करणारे तारे, पल्सार, आणि खुद्द आपल्या आकाशगंगेतील केंद्र भाग हे ह्या प्रकारचे स्रोत आहेत. अशा स्रोतांशिवाय आणखी बरेच स्रोत आकाशगंगेतील चकती बाहेर सापडले ! यांचा आकाशगंगेशी काही संबंध नसून ते इतर तारकाविश्वांप्रमाणेच लांबवर पसरलेत याची जाणीव 1950–60 च्या दशकात झाली. ह्या आकाशगंगेबाहेरील स्रोतांचा विश्वाची माहिती मिळवण्यात कसा उपयोग करण्यात येतो ते आपण पुढल्या प्रकरणात पाहू.

सिग्नस-ए हा अशा प्रकारचा एक स्रोत आहे. जेव्हा त्या भागातील आकाशाची काळजीपूर्वक छाननी करण्यात आली तेव्हा तेथे **चित्र-क्रमांक** 90 मध्ये दर्शवल्या प्रमाणे एक विचित्र गोष्ट दिसली. प्रथम निरीक्षकांनी असा तर्क केला की त्या स्रोताच्या ठिकाणी दोन तारकाविश्वांची टक्कर होत आहे. अशा टकरीतून निर्माण होणाऱ्या प्रचंड उर्जेचे रेडिओ प्रारणात रूपांतर होते असा तर्क काही वर्ष प्रचलित व ग्राह्य होता.

परंतु सध्या हा तर्क मागे पडला आहे. या मागची कारणे दोन प्रकारची आहेत. एक कारण म्हणजे बहुतेक रेडिओ स्रोतांची तपासणी केल्यावर तेथे दोन तारकाविश्वे शेजारी शेजारी सापडत नाहींत – म्हणजे टकरीचे चित्र स्पष्ट होत नाहीं. उलट बहुतेक ठिकाणी एकच तारकाविश्व असून तेथे कसलातरी स्फोट होतोय असे तपासणीअंती दिसते. उदाहरणार्थ **चित्र-क्रमांक** –91 मध्ये सेंटॉरस ए नावाचे (Centaurus A) एक रेडिओ लहरींचे उगमस्थान NGC 5126 ह्या तारकाविश्वाशी संबद्ध दाखवले आहे. ह्या तारकाविश्वात केंद्रस्थानी स्फोट होत असल्याचे दिसते कारण डॉप्लर प्रभावाचा वापर करून ह्या केंद्रस्थानातून बाहेर पडणाऱ्या भागांचा वेग मोजता येतो. बहुतेक रेडिओ स्रोतांची उत्पत्ती स्फोटातून होते. टकरीतून नाहीं असे आता दिसून येत आहे. या बाबतीतले सर्वसामान्य चित्र आपण पुढे पाहू, सिग्नस ए बद्दल आता असे म्हणता येईल की **चित्र क्रमांक** 90 मधले दिसणारे दोन गोळे

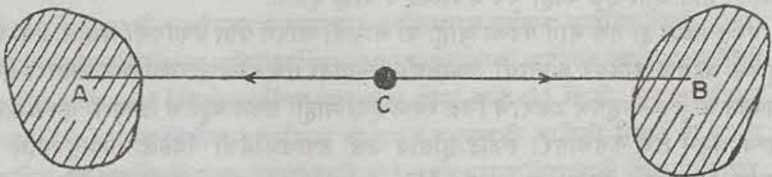
एकाच तारकाविश्वांचे असून धुळीमुळे त्या तारकाविश्वाचे दोन भाग पडल्यासारखे वाटतात. सेंटॉरस ए (चि. क्र. 91) मध्येपण धुळीचा पट्टा स्पष्ट दिसतो.

दुसरे कारण सैद्धांतिक आहे. रेडिओ स्रोतात किती ऊर्जेचा साठा असणे आवश्यक आहे ? जर सिंक्रोट्रॉन प्रारणाची सर्व माहिती लक्षात घेऊन गणित मांडले तर त्यावरून ह्या प्रश्नाचे उत्तर मिळते. जेफरी बर्बिज (Geoffrey Burbidge) याने हे गणित मांडून उत्तर काढले की सिग्नस ए सारख्या स्रोतात कमीत कमी 10^{62} अर्ग इतका ऊर्जेचा साठा असणे आवश्यक आहे. हा ऊर्जेचा साठा एक मेगाटन हायड्रोजन बॉम्ब मधून निघालेल्या ऊर्जेच्या 10^{40} पटीने आहे ! इतकी प्रचंड ऊर्जा तारकाविश्वांच्या टकरीतून निर्माण होऊ शकेल का ? न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षण सिद्धांताप्रमाणे दोन वस्तुमाने M_1 आणि M_2 यांची टक्कर होतांना त्यांच्यातले सरासरी अंतर जर R असेल तर त्यांच्या टकरीतून निर्माण होणारी ऊर्जा सुमारे

$$\frac{GM_1M_2}{R}$$

इतकी असते. जर आपण ह्या सूत्रात $M_1 = M_2 = 10^{11} M_\odot$ आणि $R = 50$ kpc अशी मूल्ये टाकली तर जे उत्तर येते ते 10^{62} अर्गच्या सहस्रांशाने सुद्धा नसते. म्हणजे तारका-विश्वांच्या टकरीतून पुरेशी ऊर्जा निर्माण होत नाही असे सिद्ध होते.

रेडिओ स्रोतांचा उगम स्फोटात होतो असे थोड्या वेळा पूर्वी सांगितले. हे चित्र कसे आहे ते आपण आता पाहू. ते समजावून घेण्यासाठी पहा चित्र क्रमांक–92



चित्र क्रमांक 92 : सर्वसाधारण रेडियोस्त्रोतात वरील चित्रात दाखवल्याप्रमाणे A आणि B येथील छायित भागातून रेडियो प्रारण बाहेर पडते. आणि A आणि B च्या दरम्यान C ह्या ठिकाणी एक तारकाविश्व असते. ह्या तारकाविश्वात घडलेल्या स्फोटात विरुद्ध दिशेला विद्युतभार फेकले गेले आणि चुंबकीय क्षेत्रात त्यांचे त्वरण घडून हे रेडियो प्रारण बाहेर पडले असावे.

येथे A आणि B असे दोन गोलाकार भाग एकमेकांपासून सुमारे 200 kpc अंतरावर आहेत अशी कल्पना करा. A आणि B च्या केंद्र बिंदूना जोडणाऱ्या सरळ रेषेवर C ह्या ठिकाणी एक तारकाविश्व आहे जिचा स्फोटाशी संबंध आहे. हा स्फोट तारकाविश्वाच्या गाभ्यात होत असेल. आणि त्यांतून विरुद्ध दिशांना प्लास्मा फेकला जातो. हा प्लास्मा आसमंतातल्या चुंबकीय क्षेत्रात त्वरण पावून रेडिओ प्रारण फेकतो.

हे नेमके A आणि B ह्या ठिकाणीच का घडते ? C पासून दोन्ही बाजूला संपूर्ण मार्गावर हे प्रारण का तयार होत नाही? आणि मूळ स्फोट कशामुळे होतो ? त्यातून इतकी ऊर्जा कशी बाहेर पडते ?

सध्या ह्या प्रश्नांची उत्तरे उपलब्ध नाहीत. पण VLBI सारखी यंत्रणा वापरून (पहा प्रकरण–3) रेडिओ स्रोतांच्या अंतर्गत रचनेचा सखोल अभ्यास निरीक्षणा द्वारे चालू आहे. कदाचित् पुढेमागे वरील प्रश्नांची उत्तरे अशा निरीक्षणातून मिळतील.

सध्या डोळ्यात भरतो तो ह्या स्रोतांचा प्रचंडपणा आणि त्यांतील विविधपणा. वर सांगितलेली 200 kpc ची लांबी ही एक प्रकारे सरासरी समजावी. लहान स्रोत 10 kpc इतके छोटे पण असतात तर त्या उलट आजवर सापडलेला सर्वात मोठा रेडिओस्रोत जवळ-जवळ 5.6 mpc, इतका लांब आहे. त्याचप्रमाणे त्यांतून निघणारा रेडिओ लहरींचा दीप्ति-स्रोत देखील सर्व स्रोतात सारखा नसून, सिग्नस ए सारखा प्रचंड स्रोत हा काही मंद स्रोतांच्या दशसहस्रपटीने मोठा दीप्तिस्रोत टाकतो. अशा स्रोतातून विश्वकिरणे सुद्धा निघत असतील.

गेल्या दोन दशकात आणखी एका मार्गाने रेडिओ स्रोतांचा बराच अभ्यास झाला आहे. तो म्हणजे दृश्यप्रकाशातील निरीक्षणांनी रेडिओ स्रोतांची तारकाविश्वांशी एकरूपता साधणे. ह्या प्रकाराला Optical Identification म्हणतात. ह्याच मार्गाने सिग्नस -ए आणि सेंटॉरस-ए ह्या रेडिओ स्रोतांची चि. क्र. 90 आणि 91 मधील तारकाविश्वांशी सांगड घालण्यात आली. ह्या मार्गाने गेल्यास आपल्याला कोणत्या प्रकारची तारका विश्वे रेडिओ स्रोत बनू शकतात हे समजण्याची शक्यता आहे. शिवाय आपण नुकत्याच पाहिलेल्या वेगवेगळया मार्गांनी जर आपल्याला संलग्न तारकाविश्वाचे अंतर माहीत झाले तर त्याबरोबर रेडिओ स्रोताचे अंतर कळते. रेडिओ स्रोतांचे आपल्यापासूनचे अंतर मापण्याचा हाच एकमेव व भरवशाचा मार्ग आहे.

क्वेसार आणि QSO

रेडिओ आणि दृश्य प्रकाश यांच्यात काम करणाऱ्या खगोल शास्त्रज्ञांच्या सहकार्यामुळे Quasi Stellar Radio Source (तारका सदृश रेडिओ स्रोत) ह्या नवीन आकाशस्थ वस्तूचा शोध लागला. 1962 मध्ये हॅझार्ड (Hazard,), मॅके (Mackay) आणि शिमिन्स

(Shimmins) यांनी ऑस्ट्रेलियातील पार्कस् येथील रेडिओ दुर्बिणीतून 3C-273 ह्या रेडिओ स्रोताची * दिशा अचूकपणे ठरवली आणि ती अमेरिकेतील हेल वेधशाळेतील निरीक्षकांना कळवली. त्यांनी ह्या दिशेला कुठला तारा किंवा तारकाविश्व दिसते ते शोधायला सुरवात केली. आणि लवकरच त्यांना यश मिळाले. त्यांना त्या ठिकाणी एक वस्तू सापडली.

त्या वस्तूत आणि ताऱ्यात बरेच साम्य होते. तिचे छायाचित्र ताऱ्या प्रमाणे लहान होते. (तारकाविश्वे, तेजोमेघ, अभ्रिका इत्यादींची छायाचित्रे अधिक पसरट असतात.) शिवाय त्या वस्तूच्या वर्ण पंक्तीत शोषण रेषां ऐवजी चमकदार रेषाच होत्या. (तारकाविश्वांतील वायुमुळे त्यातील प्रकाशाऱ्या वर्णपंक्तीत शोषणरेषा असतात) ह्या कारणामुळ त्यांनी प्रथम हा एक रेडिओ लहरीचे प्रक्षेपण करणारा तारा आहे. असा निष्कर्ष काढला.

परंतु जेव्हा त्यांनी त्या 'ताऱ्या'ची वर्णपंक्ती तपासून पाहिली तेव्हा त्यातील हायड्रोजनच्या चार, शिवाय ऑक्सिजनची एक (Hα, Hβ, Hγ, Hδ, OIII) अशा सर्व रेषा ताम्रसृत झालेल्या दिसल्या. ही ताम्रसृती 15.8% होती म्हणजे ह्या रेषांची लहर लांबी अपेक्षे पेक्षा 15.8% जास्त होती.

ताऱ्यांमध्ये डॉप्लर प्रभावामुळे थोडी ताम्रसृती असते. इतक्या मोठ्या प्रमाणात ताम्रसृती पूर्वी कधीच सापडली नव्हती. म्हणून तिच्या शोधकांना [यांत श्मिड्ट (Schmidt), ओक (Oke) यांचा समावेश आहे] तो तारा असण्या बद्दल शंका आली. त्याच सुमाराला 3C–48 नावाची अशाच प्रकारची आणखी एक तारकासदृश वस्तू सापडली. तिची ताम्रसृती याहून जास्त : 36.7% होती.

ताम्रसृतीची आणखी दोन कारणे आपल्याला माहीत आहेत. त्यातील एक म्हणजे गुरुत्वाकर्षण-जनित ताम्रसृती (पहा प्रकरण –2) आइन्स्टाइनच्या जीवन काळातच श्वेतबटू ताऱ्यातून अशी ताम्रसृती सापडली होती. पण ती सुद्धा वरील ताम्रसृतीच्या मानाने सहस्र पटीने कमीच होती. श्मिड्ट आणि ग्रीनस्टाइन ((Greenstein) यांनी 3C–273 आणि 3C–48 यांच्या वर्णपंक्तीचा आणि प्रकाशाचा अभ्यास करून हे सिद्ध केले की त्यांची ताम्रसृती गुरुत्वाकर्षण जनित नाही.

उरलेला पर्याय आहे हबलच्या नियमाचा. ह्या नियमानुसार तारकाविश्वांत ताम्रसृती सापडते व ती अंतरानुसार वाढत जाते हे आपण पाहिले. 1962–63 च्या काळात 3C–295 ह्या रेडिओ स्रोताशी संलग्न ताराकाविश्वाची हबल-ताम्रसृती सर्वात जास्त (सुमारे 46%) अशी ठाऊक होती. त्यामानाने 3C–48 आणि 3C–273 ची ताम्रसृती जास्त नव्हती. म्हणून हा तिसरा पर्याय खगोलशास्त्रज्ञांना सर्वात उपयुक्त वाटला.

---

* 3C–ही केंब्रिज रेडिओ वेधशाळेने तयार केलेली रेडिओ स्रोतांची तिसरी सूचि. 3C–273 हा त्या सूचिमधला 273 वा स्रोत.

पण याचा अर्थ असा की हे तारका सदृश रेडिओ स्रोत हे तारे नसून तारकाविश्वां प्रमाणे पुष्कळ लांब आहेत. अर्थात आकाशगंगेतील तारे आणि त्या बाहेरील तारकाविश्वे यांच्यातील अंतराची तफावत (10 kpc पासून 1000 Mpc) लक्षात घेतली तर हे तारका सदृश रेडिओ स्रोत ताऱ्यांपेक्षा पुष्कळच जास्त शक्तिवान् असले पाहिजेत. 1963 च्या प्रारंभीच हॉयेल (Hoyle) आणि फाउलर (Fowler) यांनी गणित मांडून दाखवले की एक तर ह्या वस्तूंची वस्तुमाने ताऱ्यांपेक्षा कोटी ते अब्जपटीने जास्त असली पाहिजेत. आणि दुसरे म्हणजे त्यांचे प्रकाशणे अणुगर्भीय शक्तीमुळे होणे शक्य नाहीं. त्यांच्यामागे गुरुत्वाकर्षणाचे बळ काम करत असावे हा तर्क त्यांनी मांडला.

आज पर्यंत जवळ जवळ 1000 अशा तारका सदृश गोष्टी सापडल्या आहेत. त्यांना क्वेसार (Quasar) किंवा QSO (Quasi Stellar Object ची आद्याक्षरे) म्हणतात. QSO नावात त्या वस्तूतून रेडिओ लहरी निघतात असे ध्वनित होत नाही. बहुतेक QSO मधून रेडिओ लहरी निघत नाहींत असेच आता दिसून आले आहे. पहिल्यांदा सापडलेले QSO हे त्या दृष्टीने अल्पसंख्येच्या वर्गातले आहेत. ह्या रेडिओ लहरींच्या प्रक्षेपकांना क्वेसार म्हणावे. (बरेच वेळा क्वेसार हा शब्द सर्व QSO साठी वापरण्यात आलेला दिसतो !)

QSO ची व्याख्या कशी होते ? हे तारका सदृश असून त्यांच्या वर्णपंक्तीत चमकदार रेषा आणि मोठ्यापैकी ताम्रसृती सापडते. 1965 मध्ये 3C–9 ह्या क्वेसारची ताम्रसृती z = 2 च्या आसपास आढळली म्हणजे जर डॉप्लर प्रभावामुळे ही ताम्रसृती असेल तर त्याचा अर्थ हा क्वेसार आपल्या पासून प्रकाशाच्या ऐंशी टक्के वेगाने जात आहे ! आजवर सर्वात जास्त ताम्रसृती 3.53 इतकी OQ 172 ह्या QSO मध्ये आढळली आहे.

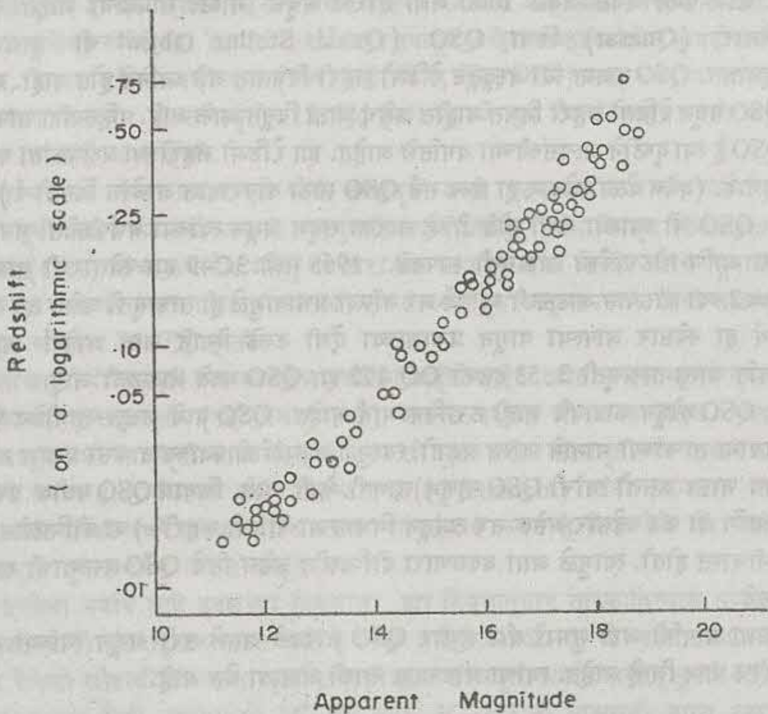
QSO शोधून काढायचे काही ठराविक मार्ग आहेत. QSO मध्ये अल्ट्रा-व्हायोलेट प्रकाश सामान्य ताऱ्यांच्या मानाने जास्त असतो. त्यामुळे ताऱ्यांपैकी ज्यांच्यात असा प्रकाश वाजवी पेक्षा जास्त असतो त्यांची QSO म्हणून छाननी केली जाते. शिवाय QSO मधील प्रकाशा- (आणि तो जर क्वेसार असेल तर त्यांतून निघणाऱ्या रेडिओ लहरीं–) चा दीप्तिस्रोत कमी कमीजास्त होतो. त्यामुळे असा बदलणारा दीप्तिस्रोत असेल तिथे QSO असण्याची शक्यता असते.

अशा मार्गांनी जरी सुमारे दीड हजार QSO सापडले असले तरी अजून त्यांच्या बाबत बरीच प्रश्न चिन्हे आहेत. त्यांचा थोडक्यात खाली आढावा घेत आहे.

1. **ताम्रसृती :** जरी प्रथम QSO मधील ताम्रसृती हबलच्या नियमाप्रमाणे आहे असा निष्कर्ष काढण्यात आला तरी पुढे ह्या निष्कर्षाबद्दल शंका निर्माण झाल्या. यांसाठी प्रथम आपण हबल रेखाचित्राची थोडक्यात माहिती करून घेऊ. ह्या रेखाचित्रात X – अक्षावर अभिव्यक्त प्रत आणि Y – अक्षावर ताम्रसृती Log श्रेणीवर असते. आपण प्रकरण - 5 मध्ये पाहिले

की सारख्याच दीप्तिस्रोतांच्या ताऱ्यांची अभिव्यक्त प्रत अंतरा प्रमाणे वाढत जाते. त्याचप्रमाणे हबल रेखाचित्रात जर सारख्या दीप्ति स्रोतांच्या वस्तूंची नोंद केली तर X– अक्षावर त्या वस्तूंचे अंतर वाढत जाते असे समजावे. तारकाविश्वांची नोंद असलेले हबल रेखाचित्र पहा चित्र क्रमांक – 93 मध्ये. यांत वाढत्या अंतरा प्रमाणे वाढती ताम्रवृती स्पष्ट दिसून येते. त्या उलट QSO चे हबल रेखाचित्र अशी प्रवृत्ती दाखवत नाहीं. ताम्रसृती आणि अभिव्यक्त प्रत यांच्यात कसलाही सहसंबंध QSO च्या बाबतीत आढळून येत नाहीं-

1966 साली हॉयेल (Hoyle) आणि बर्बिज (Burbidge) यांनी प्रथम हे निद॑.



चित्र क्रमांक 93 : हबलचे रेखा चित्र तारकाविश्वांसाठी. यात वाढत्या ताम्रसृती-प्रमाणे अभिव्यक्त प्रत वाढताना दिसते. याचा संबंध हबलच्या नियमाशी जोडता येतो. त्याउलट QSO च्या हबल रेखा चित्रात ताम्रसतीत आणि अभिव्यक्त प्रतीत काहीही सहसंबंध दिसून येत नाही.

निदर्शनास आणून दिले आणि सक्रद्दर्शनी तरी QSO ना हबलचा नियम लागू होतो का असा प्रश्न केला. कदाचित् QSOमध्ये आढळणारी ताम्रसृती डॉप्लर जनित, गुरुत्वाकर्षण जनित किंवा अन्य काही अज्ञात कारणामुळे असण्याची शक्यताही त्यांनी बोलून दाखवली.

ही ताम्रवृती हबल नियमा प्रमाणेच आहे पण QSO च्या दीप्तिस्रोतांत पुष्कळ विविधता असल्याने त्यांची अभिव्यक्त प्रत त्यांचे अंतर दर्शवत नाही असा दावा अनेक खगोलशास्त्रज्ञ करतात. ह्या विषयावर दोनही बाजूने मुद्दे मांडले जातात पण ते तांत्रिक स्वरूपाचे असल्याने त्यांची येथे चर्चा करता येत नाही. शेवटच्या प्रकरणात आपण यांकडे परत येऊ.

जर QSO ची ताम्रसृती हबल नियमाप्रमाणे असेल तर त्यांची आपल्यापासून अंतरे पुष्कळ जास्त आहेत असे मानले पाहिजे. त्या दृष्टीने OQ 172 ही आजपर्यंतची विश्वातली आपल्यापासून सर्वात लांबची वस्तू म्हटली पाहिजे. परंतु जर QSO ची ताम्रसृती दुसऱ्या कारणामुळे असेल तर मात्र त्यांची अंतरे इतकी जास्त असण्याचे कारण नाहीं.

2. **परिवर्तनशीलता** : QSO च्या आकारात, प्रकाशात, वर्णपंक्तीत कालमानाने बदल घडत असतात. हे बदल ताऱ्यांप्रमाणे मंदगतीने न होता वर्षा वर्षात, महिन्यात, कधी कधी आठवड्यांभरात ही होतात. हे बदल का घडतात हे अजून माहीत नाहीं पण त्यामुळे आपल्याला ढोबळमानाने QSO च्या आकारमानावर मर्यादा घालता येते. त्यामागची कारणमीमांसा अशी. जर T ह्या काळात QSO मध्ये महत्त्वाचे बदल घडले तर त्याचा एकंदर व्याप cT हून जास्त नसेल. इथे c हा प्रकाशाचा वेग आहे, आणि आइन्स्टाइनच्या नियमाप्रमाणे QSO च्या आत घडणाऱ्या बदलांचा वेग c हून जास्त असणे शक्य नाहीं. त्यामुळे आतील बदल सर्वत्र पसरायला जर T इतका वेळ लागत असला तर QSO चा व्याप $c \times T$ हून जास्त असणे शक्य नाहीं.

म्हणजे QSO चा व्याप प्रकाश-आठवडा ते प्रकाश वर्ष यांच्या दरम्यान असावा. एखाद्या तारकाविश्वाच्या व्यापाच्या मानाने (= सुमारे एक लाख प्रकाश वर्ष) किंवा रेडिओ स्त्रोताच्या मानाने (= सुमारे दहा लाख प्रकाश वर्ष) हा व्याप पुष्कळ कमी आहे. पण त्या मानाने QSO मधून बाहेर पडणारी ऊर्जा तारकाविश्वे किंवा रेडिओ स्त्रोतांच्या तुलनेने फार कमी नाही. म्हणजे इतक्या आटोपशीर जागेत इतकी ऊर्जा पैदा करायचा कुठला मार्ग QSO ना उपलब्ध आहे? हॉयेल आणि फाउलर यांचा गुरुत्वाकर्षणाचा मार्ग कुठल्यातरी स्वरूपात QSO मध्ये काम करत असावा असा खगोलशास्त्रज्ञांचा तर्क आहे.

VLBI वापरून क्वेसारच्या अंतर्गतर चनेचा अभ्यास केल्यावर असे आढळून आले आहे की काही क्वेसारमधले केंद्रभागातले घटक एकमेकांपासून प्रकाशापेक्षा ही अधिक वेगाने लांब जात आहेत. ह्यामागे काय गूढ आहे त्याबद्दल तर्कवितर्क चालू आहेत आणि सर्वमान्य आणि समाधानकारक उत्तर अजून मिळत नाही !

3. निर्मिती : QSO कसे तयार झाले? त्यापैकी थोडेच रेडियोलहरींचे प्रक्षेपण का करतात? सीफर्ट आणि N तारकाविश्वांच्या गर्भ भागात आणि QSO मध्ये बरेच साम्य दिसते. याचा अर्थ ह्या तिघांमध्ये काही पारस्परिक संबंध आहेत का? शिवाय BL-Lacertae ह्या एका स्त्रोताप्रमाणे अनेक नव्याप्रकारचे प्रकाशस्त्रोत गेल्या दशकात सापडलेत ज्यांच्या वर्णपंक्तींत रेषाच नसतात! असे स्त्रोत व QSO यांचे एकमेकांशी संबंध आहेत का?

अशा तऱ्हेचे अनेक प्रश्न सध्या खगोलशास्त्रज्ञांपुढे आव्हानांच्या रूपाने उभे आहेत. ह्या शतकाच्या प्रारंभी 'तारे का प्रकाशतात?' हा कूटप्रश्न जसा खगोलशास्त्रज्ञांपुढे होता तस आज QSO का प्रकाशतात?' हा कूट प्रश्न त्यांच्यापुढे आहे.

महाकृष्णविवरे आणि श्वेतविवरे

आइन्स्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताचा वापर करून कृष्णविवर (Black Hole) या काल्पनिक वस्तूचा बराच अभ्यास करण्यात आला आहे. ताऱ्यांच्या जीवनकाळाचा कृष्ण-विवर हा एक संभाव्य शेवट असतो हे आपण गेल्या प्रकरणात पाहिले. तसेच अशा कृष्ण-विवराभोवती, जर ते एका तारायुगलापैकी असेल तर, शेजारच्या ताऱ्यातून पदार्थ आकर्षित होऊन चकती कशी तयार होते आणि त्या चकतीतून क्ष-किरणे कशी येतात हे आपण पाहिले. ही कृष्णविवरे साधारणपणे सूर्याच्या दहा ते वीसपटीने जास्त वस्तुमानापर्यंत असतात.

परंतु याहून मोठ्या प्रमाणावर सुद्धा कृष्णविवरांचे अस्तित्व खगोलभौतिकशास्त्रज्ञांनी कल्पिलेले आहे. ह्या कृष्णविवरांना महाकृष्णविवरे (Supermassive Black Holes) म्हणतात आणि त्याचे वस्तुमान सूर्याच्या हजार ते अब्जपटीने असते.

सर्वसाधारणपणे महाकृष्णविवर तयार होण्याची ठिकाणे म्हणजे जेथे आटोपशीर भागात पुष्कळ वस्तूंचा साठा असतो. गुरुत्वीय अवपातामुळे ह्या वस्तू परस्परांजवळ येत येत प्रकरण 2 मध्ये सांगितल्या प्रमाणे कृष्णविवर तयार होते. आपल्या आकाशगंगेत काही मोठे गोल तारकापुंज (Globular Clusters) आहेत (**पहा चित्र क्रमांक–94**). अशा तारका-पुंजांमध्ये लाख लाख तारे असू शकतात आणि त्यांची घनता केंद्रस्थानी सर्वात जास्त आणि परिसीमेवर सर्वात कमी असते. अशा परिस्थितीत 10^4-10^3 $M_\odot$ वस्तुमानाचे कृष्णविवर केंद्रस्थानी तयार व्हायला हरकत नाही. हे कृष्णविवर स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरत असून आजूबाजूचे पदार्थ आकर्षित करून स्वतःच्या विषुववृत्ताभोवती एक चकती तयार करते. ह्या तारकापुंजातून मोठ्या प्रमाणावर येणारी क्ष-किरणे अशा चकतीतून येतात, असा काही खगोलशास्त्रज्ञांचा दावा आहे.

तारकाविश्वांच्या केंद्रस्थानी आणि QSO मध्ये सुद्धा अशी महाकृष्णविवरे असतील असा

दावा केला जातो. M-87 ह्या तारकाविश्वाच्या (**पहा चित्र क्रमांक-95**) केंद्रस्थानी $5X\ 10^9\ M_\odot$ वस्तुमानाचे एक महाकृष्णविवर असण्याची शक्यता काही निरीक्षकांनी अलिकडे बोलून दाखवली आहे.

सर्वसाधारणपणे जिथे जिथे थोड्या जागेत पुष्कळ ऊर्जानिर्मिती आवश्यक असेल तेथे कृष्ण-विवराची कल्पना मांडली जाते. गुरुत्वाकर्षणामध्ये अमाप शक्तीचा साठा आहे पण तो उप-योगात कसा आणायचा हा प्रश्न खगोलशास्त्रज्ञापुढे आहे आणि तो सोडवण्यासाठी महा-कृष्णविवराची कल्पना लोकप्रिय झाली आहे. पण कृष्णविवर जात्याच अदृश्य असल्याने त्याचा पुरावा परिस्थितीजन्यच असतो, हे लक्षात ठेवले पाहिजे.

कृष्णविवराची निर्मिती गुरुत्वीय अवपातातून होते. त्यावेळी अवपात होणाऱ्या वस्तूचे सगळीकडून आकुंचन होत असते. समजा ह्या आकुंचनाची फिल्म घेऊन ती उलटी फिरवली तर आपल्याला काय दिसेल ?

अर्थात ती वस्तू प्रसरण पावताना दिसेल आणि सुरवातीला ह्या प्रसरणाचा वेग जोरात असेल (कारण मूळ फिल्ममध्ये आकुंचनाचा वेग शेवटी जास्त असतो !). अगदीं सुरवातीला तर ह्या प्रसरणाला स्फोटाचे स्वरूप असेल. अशा स्फोटातून बाहेर पडलेला प्रकाश लांबच्या निरीक्षकाला दिसू शकतो. जरी एकंदर वस्तूचा व्याप श्वार्टझ्चिल्ड मर्यादेत असला तरी हा प्रकाश बाहेर येऊ शकतो. कारण मूळ स्फोटाने त्याला गुरुत्वाकर्षणाच्या बळावर मात करण्या-इतकी शक्ती दिलेली असते. फार काय ह्या प्रकाशात, अगदी सुरवातीचे काही क्षण नीलसृती (Blue Shift) दिसते. म्हणजे, जर मूळ प्रकाशाची कंपनसंख्या ν_0 असेल तर ती बाहेरील निरीक्षकाला ν_0 पेक्षा वाढलेली दिसेल.

श्वेत विवर (White Hole) असे नांव ह्या वस्तूला दिले आहे. विश्वात ठिक-ठिकाणी स्फोटांचे प्रकार आपण पाहिले. रेडिओ स्त्रोतांची निर्मिती स्फोटात होते असे दिसते. कृत्रिम उपग्रहांनी गामा किरणांचे अल्पकाळ (फार तर एक दोन मिनिटे) टिकणारे उत्सर्ग शोधून काढले. क्ष-किरणांचे पण उत्सर्ग दिसतात. अशा प्रकारामागे श्वेतविवरे असतील का ? विश्वकिरणे सुद्धा श्वेत विवरातून येत असतील का ?

श्वेतविवर फारवेळ टिकणार नाही असे अनेक शास्त्रज्ञ सांगतात. याचे कारण स्फोटातून बाहेर येणाऱ्या वस्तूंवर आसपासच्या वस्तू विलक्षण दबाव टाकून त्यांचे बाहेर येणे थांबवतील असा एक तर्क आहे. अशी श्वेतविवरे कृष्णविवरात रूपांतरीत होतात असा निष्कर्ष हे शास्त्रज्ञ काढतात. परंतु हा मुद्दा विवाद्य आहे ! कारण मूळ स्फोटाला कशी सुरवात झाली त्यावर त्याचे बरेचसे भवितव्य अवलंबून आहे.

परंतु काही झाले तरी एका श्वेतविवराबद्दल तरी हा वाद दिसत नाही. हे श्वेतविवर म्हणजे आपले संपूर्ण विश्व ! विश्व हे एक श्वेतविवर कसे आहे याची चर्चा आपण आता पुढल्या प्रकरणात करू.

७. विश्वाची रचना

प्रसरणशील विश्व

गेल्या प्रकरणात आपण हबलच्या नियमाची ओळख करून घेतली होती. तो नियम थोडक्यात असा आहे.

$$c\,z = HD \qquad (1)$$

याचा अर्थ, D ह्या अंतरावर असलेल्या तारकाविश्वाची ताम्रसृती z त्या अंतराला H ने गुणिले आणि c ने भागिले की समजते. इथे H हा 'हबल चा स्थिरांक' आहे आणि c म्हणजे प्रकाशाचा वेग. H चे मूल्य किती त्याची आपण पुढे चर्चा करू.

ही ताम्रसृती कशामुळे असेल ? जर आपण डॉप्लरचा सिद्धांत वापरला तर 'ही ताम्रसृती आपल्या आकाशगंगेपासून इतर तारका विश्वे लांब जात असल्याने येते' असे विधान करता येईल. प्रकरण –2 मध्ये पाहिल्या प्रमाणे cz ही तारका विश्वाची आपल्या पासून दूर जाण्याची गती म्हणता येईल. अर्थात् जर z ही ताम्रसृती 1 पेक्षा पुष्कळ लहान असेल तरच

$$V = cz \qquad (2)$$

म्हणजे तारकाविश्वाची आपल्यापासून लांब जाण्याची गती असे म्हणता येईल. जर z, 1 च्या आसपास असेल तर हा दूर जाण्याचा वेग विवक्षित सापेक्षतेनुसार

$$V = c\,\frac{2z + z^2}{2 + 2z + z^2} \qquad (3)$$

अशा वेगळ्या नियमाने दिला जातो. उदाहरणार्थ 3C–9 ह्या क्वेसार ची ताम्रसृती $z = 2$ आहे. वरील समीकरणानुसार जर ही ताम्रसृती डॉप्लर प्रभावामुळे असेल तर तो क्वेसार आपल्यापासून प्रकाशाच्या 80% वेगाने लांब जात आहे*

परंतु हबलने मुळात शोधलेली ताम्रसृती तारकाविश्वांना लागू होत होती. हबलचा नियम क्वेसारना लागू होतो की नाहीं हा एक विवाद्य विषय आहे. आपण सध्यापुरती आपली चर्चा तारकाविश्वांपर्यंतच मर्यादित ठेवू, आणि असे धरून चालू की त्यांच्यातली ताम्र सृती डॉप्लर प्रभावामुळे आहे.

या गृहीतकावरून असे वाटणे साहजिक आहे की आपली आकाशगंगा विश्वात एक वैशिष्टय-पूर्ण स्थान पटकावून बसली आहे, जिथून बाकी सर्व तारकाविश्वे लांब पळत आहेत. परंतु हबलच्या नियमाची पूर्ण दखल घेतल्यास अशी परिस्थिती नसल्याचे आढळून येईल. जर आपण कुठल्याही अन्य तारकाविश्वावरून विश्वाचे दर्शन घेतले तर आपल्याला नेमके हेच आढळून येईल. आपल्या ह्या नवीन जागेपासून बाकीची सर्व तारकाविश्वे दूर जात असताना दिसतील.

चित्र क्रमांक- 96 मध्ये ह्या परिस्थितीचे वर्णन केले आहे. त्यांत G_1, G_2, ... G_8 अशी आठ तारकाविश्वे काही काळाच्या अंतराने दाखवली आहेत. सुरवातीला त्यांच्यात परस्परामधील अंतर कमी होते. आणि नंतर ते वाढले असे ह्या दोन क्षणचित्रात दर्शवले आहे. त्यामुळे कुठल्याही तारकाविश्वातून पाहिले तर तिथून बाकीच्या तारका-विश्वांचे अंतर वाढलेले दिसेल. आपण एका पातळ रबराच्या पृष्ठभागावर (किंवा रबरी फुग्यावर) काही टिंबे काढली आणि तो पृष्ठभाग ताणला (किंवा फुगा फुगवला) तर ती टिंबे एकमेकापासून दूर जातील आणि चि. क्र. 96 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे परिस्थिती उद्‌भवेल.

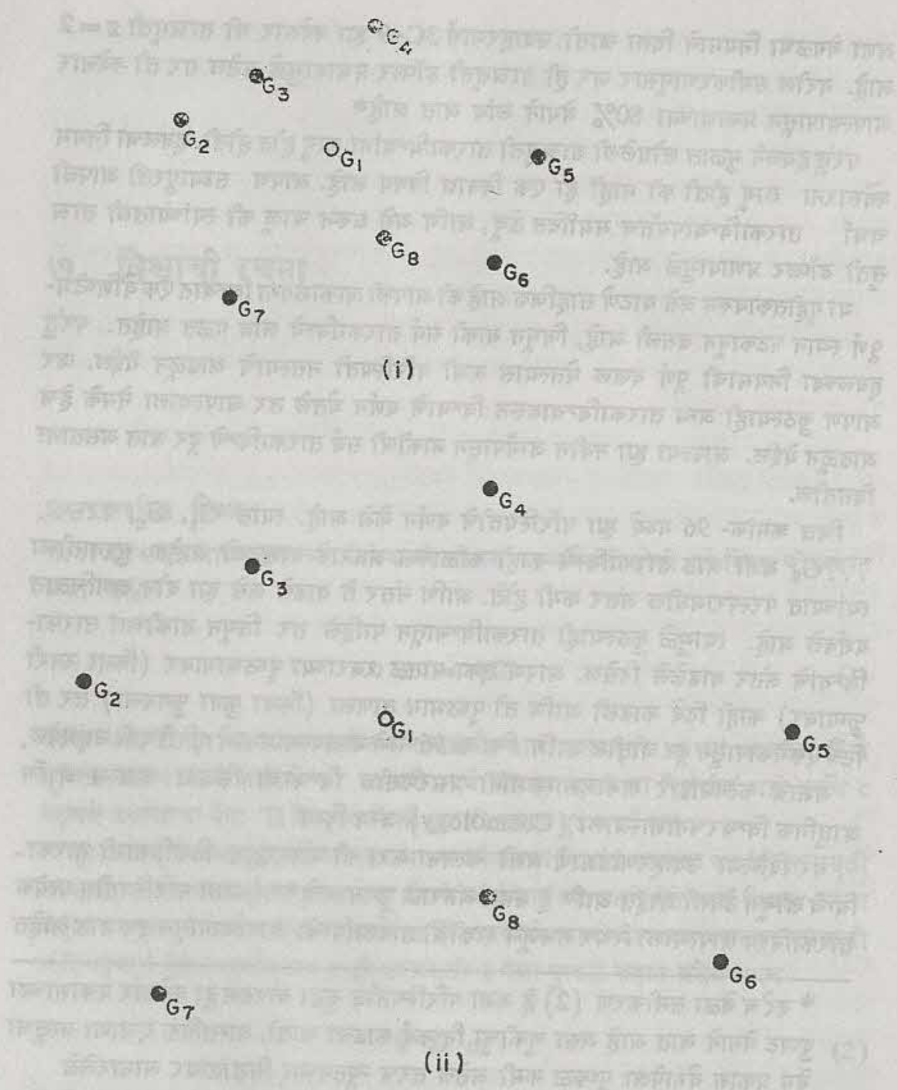
अशाच कल्पनांद्वारे खगोलशास्त्रज्ञांनी प्रसरणशील विश्वाचा सिद्धांत काढला आणि आधुनिक विश्वरचनाशास्त्राला (Cosmology) जन्म दिला.

वर दिलेल्या उदाहरणांप्रमाणे अशी कल्पना करा की अंतराळात ठिकठिकाणी तारका-विश्वे खोचून ठेवली आहेत आणि हे सबंध अंतराळ फुगत आहे** ! अशा परिस्थितीत प्रत्येक तारकाविश्व आपल्याला स्थिर समजून बाकीची तारकाविश्वे, आपल्यापासून दूर जात आहेत

---

* बरेच वेळा समीकरण (2) हे अशा परिस्थितीत सुद्धा वापरून हा क्वेसार प्रकाशाच्या दुप्पट वेगाने जात आहे असा चुकीचा निष्कर्ष काढला जातो. वास्तविक एखाद्या वस्तूचा वेग प्रकाश वेगापेक्षा पुष्कळ कमी असेल तरच न्यूटनच्या सिद्धांतांवर आधारलेले समीकरण (2) वापरणे उचित आहे. अशा परिस्थितीत (3) आणि (2) मध्ये फरक नसतो.

** हे प्रसरण तारकाविश्वाबाहेरील अंतराळात होते. खुद्द तारकाविश्वे फुगत नाहीत.



चित्र क्रमांक 96 : G_1, (पांढरे वर्तुळ) वरून पाहता (I) आणि (II) च्या दरम्यानच्या काळात बाकीची तारकाविश्वे G_2 ... G_8 लांब गेलेली दिसतील. पण नेमका हाच प्रकार इतर तारकाविश्वांतून पाहिल्यास दिसून येईल,हे वरील चित्र स्पष्ट करते.

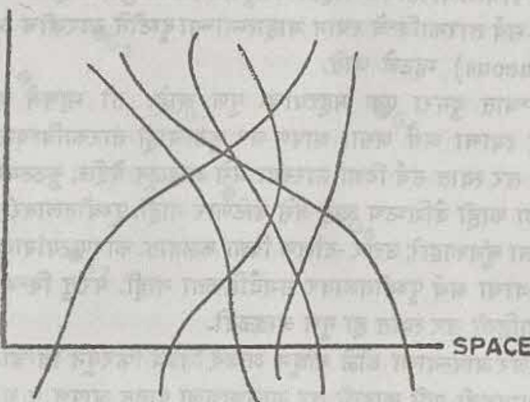
ह्या निष्कर्षाप्रत येऊन पोचेल. वास्तविक पाहता अशा अंतराळात कुठल्याही तारकाविश्वाला खास असे स्थान नाहीं सर्व तारकाविश्वे स्थान माहात्म्याच्या दृष्टीने सारखींच असे हे विश्व **एकविध** (Homogeneous) म्हटले जाते.

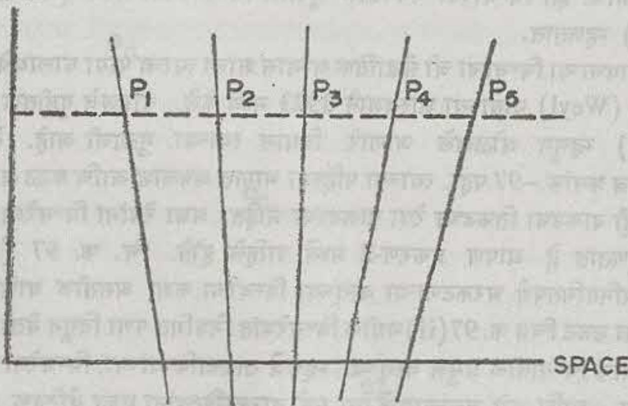
अशा एकविध विश्वात दुसरा एक महत्त्वाचा गुण आहे. तो म्हणजे समदैशिकता (Isotropy), आणि त्याचा अर्थ असा. आपण जर कुठल्याही तारकाविश्वातून विश्वाचे सर्व दिशांत वेध घेतले तर त्यात सर्व दिशा सारख्या असे आढळून येईल. कुठल्याहीं दिशेकडे पाहिले तर त्या बाजूला काही वैशिष्टय आहे असे वाटणार नाहीं. पृथ्वीतलावरील सर्व दिशा पाहिल्या तर आपल्याला चुंबकाद्वारे उत्तर -दक्षिण दिशा कळतात. कारण त्यांबाजूला चुंबकीय क्षेत्राची दिशा असते. याचा अर्थ पृथ्वीतलावर समदैशिकता नाहीं. परंतु विश्वाची मोठया प्रमाणावरची रचना पाहिली तर त्यांत हा गुण आढळतो.

थोडक्यात म्हणजे जर आपल्याला डोळे बांधून आडवे तिडवे फिरवून विश्वात कुठे तरी उभे केले आणि डोळयावरची पट्टी काढली तर आजूबाजूला पाहून आपण हे सांगू शकणार नाही कीं आपण कुठे आलो आणि कुठल्या दिशेकडे पहात आहो. सर्व जागा सारख्याच, सर्व दिशा सारख्याच. ह्या विश्वाच्या रचनेतील खुबीला विश्व-रचना तत्त्व (Cosmological Principle) म्हणतात.

प्रसरण पावणाऱ्या विश्वाचा जो सैद्धांतिक अभ्यास झाला त्याचा पाया घालायचे महत्त्वाचे काम वाइल (Weyl) नावाच्या शास्त्रज्ञाने 1923 मध्ये केले. वाइलचे गृहीतक (Weyl's Postulate) म्हणून ओळखले जाणारे विधान त्याच्या मुळाशी आहे. ते समजून घ्यायला चित्र क्रमांक –97 पहा. त्याच्या पहिल्या भागात अवकाश आणि काळ यांच्या रेखा-चित्रात काहीं वाकडया तिकडया रेषा दाखवल्या आहेत. अशा रेषांना विश्वरेषा (World lines) म्हणतात हे आपण प्रकरण-2 मध्ये पाहिले होते. चि. क्र. 97 (i) मधील विश्वरेषा अनियमितपणे भरकटणाऱ्या वस्तूंच्या विश्वरेषा कशा असतील याचे उदाहरण समजावे. त्या उलट चित्र क्र. 97(ii) मधील विश्वरेषांत नियमित पणा दिसून येतो. वाईलच्या गृहीतकाप्रमाणे विश्वातील प्रमुख वस्तूंच्या, म्हणजे तारकाविश्वांच्या, विश्वरेषा अशा प्रकाऱ्च्या आहेत. आणि असे असल्यामुळे त्या सर्व तारकाविश्वांना एका वैश्विक कालमापन-पद्धतीचा फायदा घेता येतो. हा वैश्विक काल (Cosmic Time) मोजायची पद्धत अशी :

वाइलच्या गृहीतकानुसार अवकाश-काळाच्या रेखाचित्रात कुठल्याहीं बिंदूतून एकमेव विश्वरेषा अशीं काढता येईल जिला एखाद्या तारकाविश्वाच्या विश्वरेषेचा दर्जा देता येईल. अशा विश्वरेषेतून जाणाऱ्या तारकाविश्वाचे घडयाळ जी वेळ दाखवेल ती वेळ त्या बिंदूचा वैश्विक-काल समजावा. (चि. क्र. 97 (i) मधील विश्वरेषा एकमेकींना छेदून जातात, त्यामुळे ही पद्धत त्यांना लागू पडत नाहीं.) चि. क्र. 97(ii) मधील टिंबांकित रेषा एकाच वैश्विक कालातले अनेक अवकाशबिंदू दर्शवते. ती तारकाविश्वांना ज्या बिंदूवर





चित्र क्रमांक 97 : तारकाविश्वांच्या विश्वरेषा (i) मध्ये दाखवल्याप्रमाण गुंतागुंतीच्या नसून वाइलच्या गृहीतकानुसार (ii) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे सरळ असतात. त्यामुळे वैश्विककालाची व्याख्या करता येते. उदाहरणार्थ वेगवेगळचा विश्वातील घडयाळे $P_1 - P_5$ ह्या क्षणात सारखाच वैश्विककाल t दाखवतात.

($P_1, P_2, \ldots$) छेदून जाते तियला वश्विक काल सारखाच समजवा. म्हणून विश्व-रचनाशास्त्रज्ञाला अमुक काळी विश्व कसे होते हे विधान करता येते. तेथे त्याला वैश्विक काल अभिप्रेत असतो.

वैश्विक कालाची माहिती करून घेतल्यावर आपल्याला परत एकदा विश्वरचना तत्त्वा-कडे नजर टाकणे इष्ट होईल. जेव्हा आपण असे म्हणतो की विश्व एकविध आहे तेव्हा त्या विधानामागे असे अभिप्रेत असते की एकाच वैश्विक कालात जर आपण अनेक तारका-विश्वांतून विश्वरूप दर्शन घेतले तर आपल्या एकविधता सापडेल.

याचा अर्थ वैश्विक कालाप्रमाणे विश्वाच्या रचनेत बदल घडून यण्याची शक्यता आहे. आणि प्रसरणशील विश्वाच्या कल्पनेतून हाच निष्कर्ष निघत नाही का ? जर विश्व पसरत आहे, जर त्यातील तारकाविश्वातील अंतर वाढत आहे तर विश्व पूर्वी (आत्तापेक्षा) अधिक घन होते आणि हे प्रसरण चालू राहिले तर पुढेही सध्यापेक्षा विरळ होईल. यातील 'आत्ता' 'सध्या', 'पूर्वी', पुढे' हे सर्व शब्द वैश्विक कालमापन पद्धतीस अनुसरून आहेत.

आता आपण ह्या प्रसरणशील विश्वाच्या भूत-भवितव्याचा आधुनिक सिद्धांतांद्वारे विचार करू. भौतिकशास्त्राचा वापर शक्य तितक्या मोठ्या प्रमाणावर जर कुठ होत असेल तर तो विश्वाच्या रचनेचा अभ्यास करताना—कारण विश्वात सर्वात मोठी वस्तू म्हणजे अर्थात् विश्वच !

महास्फोटाच सिद्धांत

1917 साली, आपला गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत मांडल्यावर आइन्स्टाइन याने ह्या महत्त्वाच्या कामाला चालना दिली. त्याने ह्या सिद्धांताच्या आधारे विश्वाचे एक गणितीय प्रतिमान (Model) तयार केले. अशा प्रतिमानात मोठ्या प्रमाणावर विश्वाची रचना कशी असेल याचा आराखडा असतो आणि त्यांतील परिमाणात्मक तपशील (Quantitative Details) गणिताद्वारे व्यक्त केला जातो.

आइन्स्टाइनने विश्वाचे प्रतिमान तयार करताना सोपेपणावर अधिक भर दिला. कुठ-ल्याही नव्या क्षेत्रात सिद्धांत बनवताना शास्त्रज्ञाचा कल नेहमीच सोपेपणाकड असतो. जर सोप्या सिद्धांताने काम भागत नसले तरच त्यातील क्लिष्टता वाढवायची असा त्याचा उद्देश असतो. आइन्स्टाइनच्या प्रतिमानात विश्व हे वर सांगितल्याप्रमाण एकविध आणि समदैशिक तर होतेच. शिवाय ते स्थितिशील (Static) पण होते. म्हणजे, त्यातील महत्त्वाचे घटक (तारकाविश्वे, इ.) अचल आहेत असे त्याने मानले. त्यावळी हबलची ताम्रसृती लोकांना ज्ञात व्हायची होती आणि आधुनिक प्रसरणशील विश्वाची कल्पना अस्तित्वात यायची होती.

परंतु विश्व स्थितिशील असण्याकरता त्याच्या आंतरिक गुरुत्वाकर्षणाला तोंड देणारी एक वेगळी शक्ती अस्तित्वात असणे आवश्यक आहे हे आइन्स्टाइनच्या ध्यानात आले. ताऱ्यांच्या संदर्भात आपण पाहिले की त्यांच्यातल दाब गुरुत्वाकर्षणाचा प्रतिकार करून ताऱ्यांचा समतोल टिकवतात. परंतु ताऱ्यांतल दाब त्यातील केंद्रापासून कमी कमी होत जाणाऱ्या तपमाना, घनता इत्यादीमुळे शक्य होतात. विश्वाच्या बाबतीत ते शक्य नाही कारण विश्व एकविध आहे, म्हणजे त्याच सरासरी तपमान, सरासरी घनता इत्यादी गुण कुठल्याही वैश्विक क्षणी सर्वत्र सारखेच पाहिजेत. त्यामुळे त्यातील दाबाचे बळ सर्वत्र शून्य असते. तेव्हा विश्वाचा समतोल टिकवण्यासाठी प्रतिकर्षणाचा (Repulsion) गुण असलेली एक नवी शक्ती अस्तित्वात असली पाहिजे असा तर्क आइन्स्टाइनने केला. ही शक्ती λ– शक्ती ह्या नावाने ओळखली जाते. एकमेकापासून R इतक्या अंतरावर असणाऱ्या वस्तूत परस्परांना एकमेकांपासून दूर ढकलणारे बळ

$$f = \lambda R c^2$$

इतके त्वरण निर्माण करते असे आइन्स्टाइनने प्रतिपादन केले.

दोन वस्तूंतले गुरुत्वाकर्षण त्या जवळ आल्या की वाढत जाते हे आपण पूर्वी पाहिले. त्याउलट त्यांच्यातले λ- प्रतिकर्षण त्यांच्यातील वाढत्या अंतराबरोबर वाढत जाते. ह्यावरून असे दिसून येईल की एका ठराविक अंतरावरच ह्या दोन वस्तू स्थितिशील अवस्थेत राहू शकतील.

आइन्स्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षण सिद्धांताची समीकरणे मांडली आणि ती स्थितिशील-विश्वाच्या प्रतिमानासाठी सोडवली तर असे दिसून येते की ह्या दोन्ही परस्परविरोधी शक्तींतला समतोल एका ठराविक आकारमानाच्या विश्वासाठीच साधला जातो. जर विश्व त्याहून मोठे असेल तर λ- प्रतिकर्षणामुळे ते प्रसरण पावू लागते. त्या उलट जर ते छोटे असेल तर गुरुत्वाकर्षणामुळे त्याचे आकुंचन होते. आइन्स्टाइन प्रतिमानात विश्वाचा अर्धव्यास

$$R = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

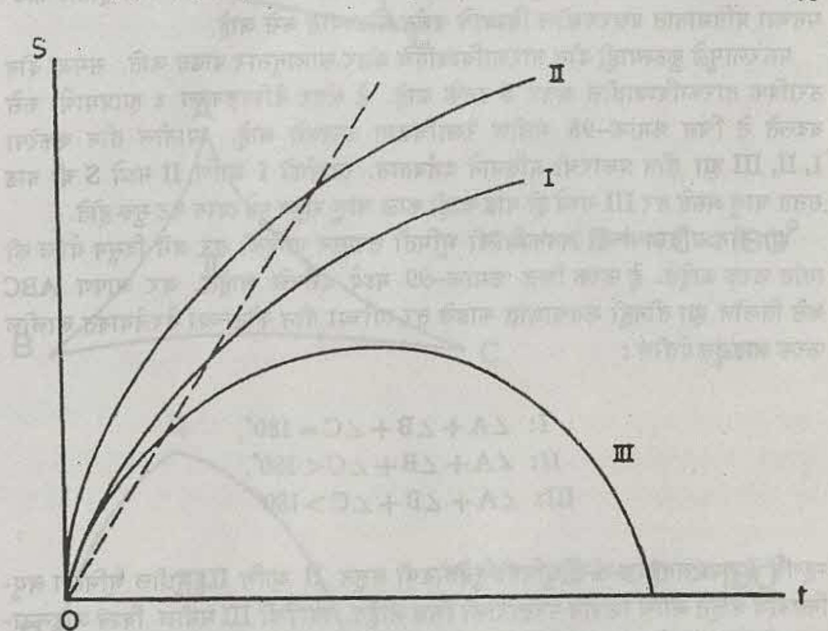
आणि त्याची घनता

$$\rho = \frac{c^2 \lambda}{4\pi G}$$

असे गणित मांडल्यावर दिसून येते.

आइन्स्टाइनचे विश्व आकाराने अनंत नसले तरी अमर्यादित आहे ! ज्याप्रमाणे एका गोलाचा पृष्ठभाग क्षेत्रफळाने सांत (Finite) असला तरी त्याला मर्यादा नसते त्याप्रमाणे आइन्स्टाइनच्या विश्वाचे घनफल $2\pi^2R^3$ इतके असले तरी त्याला सीमा नाहीत ! गोलावर सरपटणाऱ्या सपाट जीवाला त्या गोलाची सीमा गवसत नाही—तो किती जरी फिरला तरी तो परत परत सुरवातीच्या ठिकाणी येतो. त्याचप्रमाणे आइन्स्टाइनच्या विश्वात एका दिशेने 'सरळ' वाटचाल करत गेलेला माणूस पूर्ण प्रदक्षिणा घालून उलटया दिशेने परत येईल. ही किमया आइन्स्टाइनने वापरलेल्या अयुक्लिडीय भूमितीची आहे. अशा भूमितीची आपण प्रकरण–2 मध्ये चर्चा केली होती.

1917 मध्ये आइन्स्टाइनने मांडलेल्या ह्या सर्व कल्पना तत्कालीन शास्त्रज्ञांना अद्भुत



चित्र क्रमांक 98 : फ्रीडमनच्या तीन प्रकारच्या प्रतिमांनाप्रमाणे विश्वाचे प्रसरण कसे होत जाते ते I, II, III ह्या ठळक रेषांनी सूचित केले आहे. $t=0, S=0$ हा महास्फोटाचा क्षण ! जर स्फोटातून निघणारे पदार्थ सारख्या वेगाने संतत प्रवास करते तर विश्वाचे प्रसरण टिंबांकित रेषेप्रमाणे होते. प्रत्यक्षात गुरुत्वाकर्षणामुळे प्रसरणाचा वेग कमी होतो.

स्वरूपाच्या वाटल्या.आइन्स्टाइनची अशी आशा होती की त्याचे हे विश्वाचे प्रतिमान त्याच्या सिद्धांतातून निघणारे 'एकमेवाद्वितीय' स्वरूपाचे असून निदान ढोबळ अर्थाने तरी खरे ठरावे. परंतु ह्या त्याच्या आशा फोल ठरल्या. काहीं महिन्यानींच डीसिटर (deSitter) नावाच्या शास्त्रज्ञाने आणखीं एक वेगळेच विश्व-प्रतिमान आइन्स्टाइनच्याच समीकरणातून काढले. हे प्रतिमान होते एका प्रसरणशील पण रिकाम्या विश्वाचे ! म्हणजे आइन्स्टाइनचे प्रतिमान एकमेवस्वरूपाचे नाहीं हे दिसून आले. आणि पुढे 1929 मध्ये जेव्हा हबलने प्रसरणशील विश्वाच्या कल्पनेला जन्म दिला तेव्हा तर आइन्स्टाइनचे स्थितिशील विश्व-प्रतिमान वस्तुस्थितीला धरून नाहीं हे पण सिद्ध झाले.

दरम्यान 1922–24 च्या काळात फ्रीडमन (Friedmann) नावाच्या शास्त्रज्ञाने आइन्स्टाइनचीं समीकरणे सोडवून प्रसरणशील विश्वाचीं प्रतिमाने तयार केलीं होतीं. फ्रीडमनच्या प्रतिमानात प्रसरणशील विश्वाचे वर्णन थोडक्यात असे आहे.

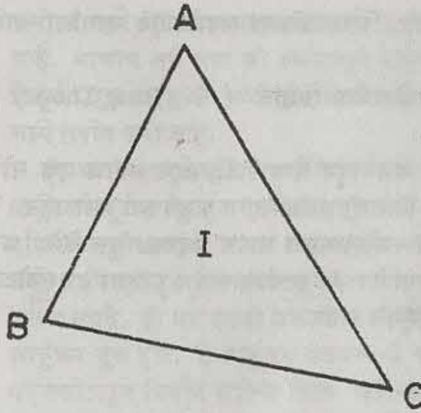
प्रसरणामुळे कुठल्याहीं दोन तारकाविश्वांतले अंतर कालानुसार वाढत जाते. समजा दोन ठराविक तारकाविश्वातील अंतर S इतके आहे. हे अंतर वैश्विककाल t ह्याप्रमाणे कसे बदलतें ते चित्र क्रमांक–98 मधील रेखाचित्रात दाखवले आहे. त्यातील तीन वक्ररेषा I, II, III ह्या तीन प्रकारचीं प्रतिमाने दर्शवतात. त्यापैकीं I आणि II मध्ये S चीं वाढ सतत चालू असते तर III मध्ये हीं वाढ काहीं काळ चालू राहून पुढे त्यात घट सुरू होते.

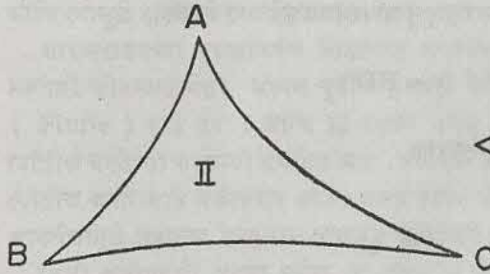
ह्या तीन प्रतिमानांच्या अवकाशाची भूमिती तपासून पाहिलीं तर असे दिसून येईल की त्यांत फरक आहेत. हे फरक चित्र क्रमांक–99 मध्ये दर्शवले आहेत. जर आपण ABC असे त्रिकोण ह्या तीनहीं अवकाशात काढले तर त्यांच्या तीन कोनांच्या बेरजेबाबत खालील फरक आढळून येतील :

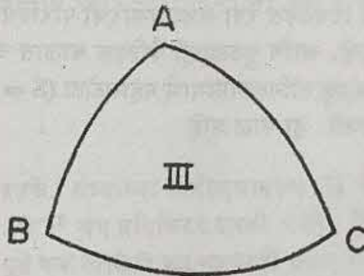
$$\text{I: } \angle A+\angle B+\angle C=180^\circ,$$
$$\text{II: } \angle A+\angle B+\angle C<180^\circ,$$
$$\text{III: } \angle A+\angle B+\angle C>180^\circ$$

म्हणजे I च्या अवकाशातील भूमिती युक्लीडचीं असून II आणि III मधील भूमित्या अयुक्लिडीय आहेत आणि शिवाय परस्परांशीं भिन्न आहेत. त्यापैकीं III मधील विश्व आइन्स्टाइन प्रतिमानाप्रमाणे सांत पण अमर्याद आहे तर I आणि II मधील विश्वे अनंत आहेत.

परंतु ह्या सर्व प्रतिमानात एक साम्य आहे. चित्र क्र.–98 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक वैश्विक क्षण असा होता जेव्हा S चे मूल्य शून्य होते. ह्याक्षणीं – त्याला चित्र क्र. 98 मध्ये t = o ने सूचित केले आहे – संपूर्ण विश्व शून्य घनफळाच्या (बिंदुवत) जागेत समाविष्ट होते ! आपल्याला अशी कल्पना करता येईल की t = o ह्या क्षणी अशा बिंदूतून एका







चित्र क्रमांक 99 : फ्रीडमनच्या प्रतिमानात कुठल्याही वैश्विकक्षणी अवकाशाची भूमिती कशी असते हे त्रिकोणाच्या वरील उदाहरणातून स्पष्ट होते.

मोठ्या स्फोटाद्वारे संपूर्ण विश्व अस्तित्वात आले. आज आपण पाहतो ते प्रसरणशील विश्व

अशा पूर्वी घडलेल्या महास्फोटातील इतस्ततः भिरकावलेल्या अवशेषातून जन्माला आले आहे.

ह्या विश्वनिर्मितीच्या कल्पनेला महास्फोटाच्या सिद्धांत (Big Bang Theory) म्हणतात.

चित्र क्र.–98 मधील रेखाचित्राचा अर्थ समजावून घेण्यासाठी प्रथम आपण एक सोपे उदाहरण घेऊ. अशी कल्पना करा की एके ठिकाणी स्फोट झाला असून त्या स्फोटातून V ह्या वेगाने पदार्थ बाहेर फेकले गले. समजा स्फोटक्षणाला आपण घड्याळ सुरू केले. जर स्फोटकेंद्रापासून लांब जाण्याचा स्फोटावशेषांचा वेग V इतकाच कायम राहिला तर स्फोटा· नंतर t इतक्या वेळाने त्या वस्तूंचे केंद्रापासूनचे अंतर

$$D = Vt$$

इतके असणार. पण ह्या सोप्या समीकरणातून आपल्याला हबलचा नियम

$$V = HD$$

मिळतो ! फक्त आपल्याला हबलचा स्थिरांक

$$H = t$$

असा निश्चित करावा लागेल. चित्र क्र.–98 मध्ये टिंबांकित रेषा अशा प्रकारची परिस्थिती दर्शवते. येथे S हा t च्या समप्रमाणात वाढत आहे. आणि कुठल्याही वैश्विक काळात जर आपण निरीक्षणाद्वारे हबलचा स्थिरांक मोजला तर वर सांगितल्याप्रमाणे महास्फोटा (S = 0) च्या पासून त्या क्षणापर्यंत किती काळ गेला ते समजते. हा काळ आहे

$$t = \frac{1}{H}$$

अर्थात हे सोपे गणित फ्रीडमनच्या चित्र क्र.–98 मधील तीन प्रकारच्या प्रतिमानांना लागू पडत नाही. परंतु टिंबांकित रेषेच्या उदाहरणाशी तुलना केल्यास महत्वाची माहिती मिळते. उदाहरणार्थ तीनही रेषा I, II, III टिंबांकित रेषेखाली आहेत. याचा अर्थ कुठल्याही क्षणी तुलना केली तर असे म्हणता येईल की दोन तारकाविश्वातले अंतर III मध्ये सर्वात

कमी, I मध्ये III पेक्षा जास्त, II मध्ये I पेक्षा जास्त तर टिबांकित रेषेत सर्वात जास्त आहे. याचाच अर्थ असा की स्फोटातून बाहेर फेकल्याचा वेग फ्रीडमनच्या प्रतिमानात पुढे टिकून राहत नाही. ती कमी होत जातो. ही वेगातली घट III मध्ये सर्वात जास्त तर I मध्ये सर्वात कमी आहे.

ही घट कशामुळे होते ? स्फोटावशेषांचे गुरुत्वाकर्षण त्यांना परस्परांकडे ओढू पाहते आणि त्यामुळे स्फोटातून एकमेकापासून लांब जाण्याची प्रवृत्ती कमी होते. I, II, III ह्या प्रतिमानातली वस्तूंची घनता लक्षात घेता असे आढळते की III मध्ये घनता सर्वात जास्त आहे आणि त्यामुळे तिच्यातले गुरुत्वाकर्षण जास्त आणि स्फोट-जनित वेगात घटही सर्वात जास्त असते. ही घट इतकी प्रभावी असते की त्यामुळे विश्वाचे प्रसरण थांबते आणि परत आकुंचन सुरू होते. हे आकुंचन प्रकरण–2 मध्ये वर्णन केलेल्या गुरुत्वीय अवपाताप्रमाणे महास्फोटातून निर्माण झालेले विश्व महा-अवपातात विलीन होते. I आणि II ह्या प्रति-मानात मात्र वस्तूंची घनता कमी असल्याने त्यांतील वस्तूंचे गुरुत्वाकर्षण तितके प्रबल नसते. आणि त्यामुळे ह्यांचे प्रसरण 'शेवटपर्यंत' चालू राहते.

आइन्स्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षण सिद्धांतात अवकाश-कालाच्या भूमितीचा संबंध वस्तूंच्या घनतेशी जोडण्यात येतो. आपण पूर्वीच हे नमूद केले होते की III मधला अवकाश सांत (Finite) आहे तर I आणि II मधला अनंत (Infinite) आहे. हा फरक पण त्यांतील घनतेच्या फरकाशी संबंधित आहे. प्रतिमान III मधली घनता सर्वात जास्त असल्याने त्यातील अवकाशाचे वक्रीकरण सर्वात जास्त होते—ते इतके की अवकाश सांत होतो (प्रचंड आकर्षणामुळे अवकाश 'हात पाय आखडून घेतो' असे म्हणायला हरकत नाही !).

किती कमीतकमी घनता असेल तर अवकाश अशाप्रकारे आखडून सांत होतो ? ह्या प्रश्नाचे उत्तर आइन्स्टाइनच्या समीकरणांतून मिळते. ते उत्तर आहे

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

इतके. सध्याच्या निरीक्षणावरून H चे जे मूल्य माहीत आहे त्यावरून ही घनता सुमारे 10^{-26} ग्रॅम प्रतिलिटर इतकी भरते. विश्व सांत आहे का अनंत आहे याची चर्चा आपण पुढे करू त्यावेळी ह्या मुद्द्याची दखल घेऊ.

आणि शेवटी टिबांकित रेषेशी तुलना केल्यावर मिळणाऱ्या आणखी एका महत्त्वाच्या माहि-तीची थोडक्यात चर्चा करू या. जर त्या रेषेनुसार ठराविक वेगाने विश्वाचे प्रसरण होत राहते तर त्याचे 'वय', (म्हणजे स्फोटातून जन्म झाल्यापासून व्यतीत झालेला कालखंड) $\frac{1}{H}$ इतके

असते हे आपण पूर्वी पाहिले. परंतु I, II, III ह्या प्रतिमानांत विश्वाचा प्रसरणाचा वेग पूर्वी सध्यापेक्षा जास्त असल्याने त्या प्रतिमानांत विश्वाचे वय $\frac{1}{H}$ पेक्षा कमी असणार. हे वय नक्की किती ते गणित मांडून सांगता येते. उदाहरणार्थ प्रतिमान I मध्ये विश्वाचे वय

$$T = \frac{2}{3H}$$

इतकेच असते. पुढे आपण ह्या गोष्टीची पण सविस्तर दखल घेऊ.

विश्व प्रसरण पावते हे लक्षात आल्यावर आइन्स्टाइनने स्थितिशील विश्वाची कल्पना सोडून दिली. आणि त्याच बरोबर λ- शक्तीची पण आवश्यकता नसल्याचे विधान केले. त्याने व डीसिटर यांनी मिळून पुरस्कृत केलेले विश्वाचे प्रतिमान हे वरील तीन प्रकरच्या प्रतिमानांपैकी प्रतिमान–I आहे. त्याला बरेच वेळा 'आइन्स्टाइन डी-सिटर प्रतिमान' (Einstein-de Sitter Model) म्हणतात.

जरी आइन्स्टाइनने λ शक्तीचे अस्तित्व गृहीत धरण्याची जरूरी नाही असे मानले तरी एडिंगटन (Eddington), लमेत्रं (Lemaitre) यासारख्या नाणावलेल्या शास्त्रज्ञांनी ह्या शक्तीच्या अस्तित्वाचा पुरस्कार केला. आज ही जरी बहुसंख्य खगोलशास्त्रज्ञ ह्या शक्तीच्या अस्तित्वाबद्दल अविश्वास व्यक्त करत असले तरी काही अल्पसंख्याक शास्त्रज्ञ याचा पुरस्कार करतात.

परंतु ह्या वादाचा निर्णय लावायची एक पद्धत म्हणजे निरीक्षणाद्वारे ! प्रत्यक्ष वेधांनी आपण जेव्हा विश्वाच्या रचनेबद्दल माहिती मिळवतो तेव्हा ती माहिती विश्वाच्या कुठल्या प्रतिमानाला अनुकूल आहे किंवा प्रतिकूल आहे हे सांगता यावे अशी विश्वरचनातज्ञांची अपेक्षा असते. अशा माहिती वरून आपल्याला λ शक्तीचे अस्तित्व सिद्ध (किंवा ती नसल्याचे सिद्ध) करता येईल का ? त्याचप्रमाणे फ्रीडमनच्या प्रतिमानांपैकी अमुक एक प्रतिमान वेधांशी अनुकूल आहे हे ठरवता येईल का ? तसेच विश्वाची उत्पत्ती जर महास्फोटात झाली असेल तर त्याबद्दल आज कोणतातरी पुरावा उपलब्ध आहे का ? आपण आता विश्वरचनाशास्त्रातील वेधांकडून मिळालेल्या माहितीचा थोडक्यात आढावा घेऊ.

विश्वरचनाशास्त्रातले वेध

वर उल्लेखलेल्या प्रश्नांच्या संदर्भात खगोलशास्त्रज्ञाने अनेक प्रकारे माहिती मिळवण्याचे प्रयत्न केले आहेत. त्यासाठी मुख्यतः त्याला दृश्य प्रकाश आणि रेडिओ खगोलशास्त्राकडून बरीच मदत झाली आहे. आपण प्रथम ह्या मार्गाद्वारे केल्या जाणाऱ्या प्रयत्नांचा आढावा घेऊ.

1. **विश्वाचे वय :** आपण नुकतेच पाहिले की फ्रीडमनच्या प्रतिमानानुसार महास्फोटापासून आजपर्यंतचा काळ फार तर $\frac{1}{H}$ इतका असेल. त्यामुळे जर आपण H निरीक्षणाद्वारे मोजला तर आपल्याला विश्वाच्या वयाचा अंदाज लागेल. आणि हा हबलचा स्थिरांक मोजायला आपल्याला लांबच्या तारकाविश्वांची अंतरे (D) आणि ताम्रसृती (z) माहीत पाहिजे. त्यादृष्टीने हबल आणि त्याच्या सहकाऱ्यांनी आणि अनुयायांनी प्रयत्न करून H चे मूल्य सुमारे 50 ते 75 कि. मी. प्रतिसेकंद प्रति मेगापार्सेक असे ठरवले आहे. याच्यातून असा निष्कर्ष काढायचा की एक मेगापार्सेक अंतरावरील तारकाविश्व आपल्यापासून 50 ते 75 कि. मी. प्रति सेकंद वेगाने जात आहे. आणि अधिक लांबच्या तारकाविश्वांचा आपल्यापासून दूर जाण्याचा वेग ह्या प्रमाणात वाढतो. H च्या मूल्यात ही अनिश्चितता काय म्हणून ? याचे कारण जरी लांबच्या तारकाविश्वाची ताम्रसृती मोजणे सोपे असले तरी त्यांचे अंतर मोजणे तितके सोपे नाही. प्रकरण–6 मध्ये आपण लांबलांबची अंतरे मोजायची शृंखलावजा पद्धत पाहिली. आपण जितक्या लांबच्या तारकाविश्वाचे अंतर मोजायला जाऊ तितक्या ह्या साखळीच्या अनेक कडा आपल्याला वापराव्या लागतील. आणि प्रत्येक कडीबद्दल थोडी अनिश्चितता असतेच. त्यामुळे आपण मोजलेले अंतर निश्चितपणे अमुक अमुक आहे असे म्हणायला वाव नाही. त्या मागे थोडी फार अनिश्चितता आहे हे खगोलशास्त्रज्ञाला मान्य करावे लागते. त्यामुळे हबलचा स्थिरांक सुद्धा अमुक अमुक आहे असे न म्हणता तो अमुक अमुक मूल्यांच्या दरम्यान आहे असे म्हणणे योग्य आहे.

आपण जर H हा 50 ते 75 कि. मी. प्रतिसेकंद प्रति मेगापार्सेक अशा सीमेत धरला तर $\frac{1}{H}$ ची सीमा काय असेल ? $\frac{1}{H}$ हे कालमापनाच्या एककात मोजणे उचित ठरेल आणि $\frac{1}{H}$ चे मूल्य $\frac{4}{3}$ ते 2 दश-अब्ज वर्षे इतके होते. म्हणजे ही विश्वाच्या वयाची मर्यादा म्हटली पाहिजे. फ्रीडमनच्या प्रतिमानाप्रमाणे विश्वाचे वय याहून कमीच असणार. उदाहरणार्थ आइन्स्टाइन-डीसीटर विश्वाचे वय सुमारे 9 ते 13 अब्ज वर्षे आहे.

हे वय जरी मानवी संदर्भात पुष्कळ वाटले तरी खगोलशास्त्रीय संदर्भात फार नव्हे ! प्रकरण–4 मध्ये आपण सूर्यमालेचे वय साडेचार अब्ज वर्षे इतके ठरवले. आपल्या आकाशगंगेत त्याहून 'वयस्कर' तारे आहेत हे H–R रेखाचित्राकडे पाहिल्यास कळते. हॉयेल आणि फाउलर (Hoyle & Fowler) यांनी अशा ताऱ्यांचा विचार करून आपल्या आकाशगंगेचे वय 10 ते 15 अब्ज वर्षे इतके निश्चित केले. आणि आपल्या आकाशगंगेपेक्षा वयस्कर तारकाविश्वे पण अस्तित्वात असण्याची शक्यता नाकारता येणार नाही. म्हणून फ्रीडमनच्या प्रतिमानांप्रमाणे विश्वाचे वय त्यातील घटकांच्या वयोमानाच्या तुलनेने अपुरे पडते असा काही खगोलशास्त्रज्ञांचा दावा आहे. आजवर हा प्रश्न वादग्रस्त आहे. पुढेमागे हबलचा स्थिरांक

अधिक निश्चितपणे ठरवता आल्यास आणि तारकाविश्वांची वये अधिक अचूकपणे मोजता आल्यास ह्या वादाचा निकाल लागेल.

2. **विश्वाची घनता :** विश्व सांत आहे का अनंत आहे हे ठरवण्याकरता आपल्याला विश्वाची घनता मोजली पाहिजे आणि तिची तुलना

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

ह्या घनतेशी केली पाहिजे. जर आपण H मधली वर सांगितलेली अनिश्चितता लक्षात घेतली तर ही घनता (ρ_c) 5×10^{-27} ते 1.5×10^{-26} ग्रॅमप्रतिलिटर च्या दरम्यान आहे असे दिसेल.

त्या उलट जर आपण विश्वातील तारकाविश्वे, क्वेसार, रेडिओस्त्रोत आणि सर्व वस्तूंची दखल घेऊन विश्वाची घनता किती हा प्रश्न विचारला तर हे उत्तर वरील घनतेच्या एक ते तीन टक्के इतकेच येते ! यातून दोन प्रकारचे निष्कर्ष काढण्यात येतात.

पहिला निष्कर्ष म्हणजे विश्वात ज्या अर्थी आणखी वस्तू सापडत नाहीत त्या अर्थी वरील निरीक्षणातून विश्व अनंत आहे आणि फ्रीडमन प्रतिमान II प्रमाणे आहे.

दुसरा पर्यायी निष्कर्ष म्हणजे विश्वात आजवर न दिसलेल्या अनेक वस्तू दडल्या असतील. त्या प्रकाशत नसल्याने दिसत नाहीत. कदाचित त्या कृष्णविवरांच्या स्वरूपातही असतील ! त्यामुळे अजून विश्वाची एकंदर घनता किती हे सांगता येत नाही.

विश्वाच्या वयाप्रमाणे विश्वाची घनता हा मुद्दा पण वादग्रस्त आहे याची वाचकांना जाणीव होईल.

आता आपण वेगळ्या प्रकारच्या निकषांकडे वळू.

3. **हबलचे रेखाचित्र :** फ्रीडमनच्या प्रतिमानात प्रसरणाचा वेग कमी होत जातो हे आपण पाहिले. याचा अर्थ हबल चा स्थिरांक आज ऐवजी काही अब्ज वर्षांपूर्वी जर मोजला असता तर आतापेक्षा त्याचे मूल्य जास्त आढळून आले असते. म्हणून जर आपल्याला हबलच्या स्थिरांकाची मूल्ये पुष्कळ पूर्वी आणि आता अशी मोजून त्यांची तुलना करता आली तर त्यावरून विश्वाच्या प्रसरणाचा वेग मंदावत आहे का आणि असल्यास तो फ्रीडमनच्या कुठल्या प्रतिमानाशी अनुकूल आहे याची शहानिशा करता येईल. परंतु अनेक अब्ज वर्षांपूर्वीचे H चे मूल्य आज कसे कळणार ?

खगोलशास्त्रज्ञ जेव्हा पुष्कळ लांबचे वध घेतो तेव्हा तो ज्याप्रमाणे अवकाशात दूरवर पाहतो तसेच भूतकालाचेही दर्शन घेतो. उदाहरणार्थ जेव्हा 5 अब्ज प्रकाशवर्ष अंतरावरील तारका-विश्वाचे बिंब त्याच्या फोटोग्राफिक प्लेटवर उमटते तेव्हा हे लक्षात घ्यायला पाहिजे की ते

बिंब उमटवणारा प्रकाश त्या तारकाविश्वाकडून 5 अब्ज वर्षापूर्वी निघाला. म्हणून आपल्याला त्या तारकाविश्वाचे जे छायाचित्र दिसते त्याप्रमाणे ते तारकाविश्व 5 अब्ज वर्षापूर्वी दिसत होते. आज ते कसे दिसते हे कळायला मार्ग नाही. कदाचित त्याचा स्फोट होऊन आज ते अस्तित्वातही नसेल !

म्हणून अशा लांबच्या तारकाविश्वांचे हबल रेखाचित्र जर काढता आले तर त्यावरून आपल्याला हबल स्थिरांकाचे पूर्वीचे मूल्य कळणे तत्त्वतः तरी शक्य आहे. किंवा, जर आपण हबलच्या नियमाची

$$cz = HD$$

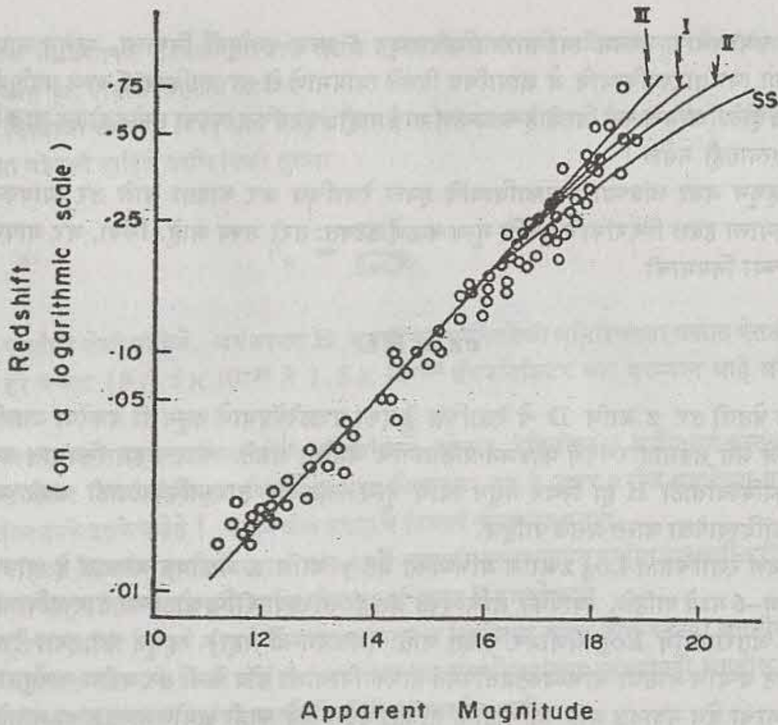
दखल घेतली तर z आणि D चे रेखाचित्र हे एका सरळरेषेप्रमाणे नसून ती वक्ररेषा असली पाहिजे असे सर्वसाधारणपणे फ्रीडमन-प्रतिमानांचे भाकित असते. कारण ह्या नियमात सर्व तारकाविश्वांसाठी H हा स्थिर नसून त्याचे मूल्य लांबच्या तारकाविश्वांसाठी जवळच्या तारकाविश्वापेक्षा जास्त असले पाहिजे.

हबल रेखाचित्रात Log z आणि अभिव्यक्त प्रत y आणि x अक्षांवर असतात हे आपण प्रकरण–6 मध्ये पाहिले. त्यापैकी अभिव्यक्त प्रत ही सारख्या दीप्तिस्रोतांच्या तारकाविश्वांसाठी अंतराप्रमाणे Log श्रेणीवर वाढत जाते. (प्रकरण–5 पहा). म्हणून जर हबल रेखा चित्रात बऱ्याच मोठ्या अभिव्यक्तप्रतींपर्यंत तारकाविश्वांची नोंद केली तर वरील चर्चेनुसार प्रसरणाचा वेग मंदावत आहे का नाही हे सांगता येईल असे काही खगोलशास्त्रज्ञांना वाटले.

चित्र क्रमांक–100 मध्ये काही लांबच्या तारकाविश्वांपर्यंत पोचलेले हबल रेखाचित्र दाखवले आहे. सॅण्डेज (Sandage) आणि टामन (Tamman) ह्या दोघा हेलवेधशाळेतील खगोलशास्त्रज्ञांनी ह्या क्षेत्रात बरेच कार्य केले आहे. चित्र क्र. 100 मधील रेखाचित्र त्यांच्या वेधांवर आधारलेले आहे. त्या रेखाचित्रावरील चार वक्ररेषा चारप्रकारच्या प्रतिमानांची भाकिते दाखवतात. त्यापैकी रेषानंबर I, II, III ह्या अनुक्रमे I, II, III प्रकारच्या फ्रीडमन प्रतिमानाची भकिते दर्शवतात. चौथी SS ह्या आद्याक्षरांनी दर्शवलेली रेषा स्थिरस्थिती (Steady State) च्या विश्वाची रेषा आहे. ह्या विश्वात H नेहमी आजच्या इतकाच असतो. (आपण पुढे याची थोडक्यात चर्चा करू.)

अशा रेखाचित्रांचा अभ्यास करून विश्वाचे प्रसरण फ्रीडमन-प्रतिमान III पणे मंदावत आहे असा निष्कर्ष सॅण्डेज आणि त्याच्या सहकाऱ्यांनी काही वर्षापूर्वी काढला. प्रसरण पावून पुढे अवपाताला सुरवात होईल आणि अशा तऱ्हेने बिंदूतून निर्माण झालेले विश्व पुन्हा बिंदूत विलीन होणार असा सॅण्डेज प्रभृतींचा दावा होता.

परंतु आज बहुतेक खगोलशास्त्रज्ञ ह्या दाव्याशी सहमत नाहीत. याचे एक कारण म्हणजे



चित्र क्रमांक 100: लांबच्या तारकाविश्वासाठी ख्रिस्टियन (Kristian), सॅण्डेज (Sandage) आणि वेस्टफाल (Westphal) यांनी काढलेले हबल रेखा चित्र काही प्रतिमानांच्या भाकीत रेषांसह दाखवले आहे.

चि. क्र.–100 मधील बिंदू त्या रेखाचित्रातील अमुक एका रेषेलाच अनुकूल आहेत असे म्हणता येत नाही. संख्याशास्त्राचे (Statistics) निकष लावता वरील चार रेषांपैकी कुठलीच 'त्याज्य' म्हणता येत नाही !

दुसरा वादग्रस्त मुद्दा म्हणजे आपण जसजसे लांब जाऊ तसतसे दीप्तिस्रोतावर आधारलेले अंतरे मोजायचे आपले निकष तितके विश्वसनीय राहत नाहीत. टिन्सले (Tinsley) ह्या खगोलशास्त्रज्ञेने असे दाखवले आहे की सॅण्डेजने सारख्या दीप्तिस्रोताच्या म्हणून गृहीत धरलेल्या तारकाविश्वांचा दीप्तीस्रोत ताम्रसृतीनुसार वाढतो. म्हणजे जास्त ताम्रसृतीच्या, अधिक भूतकाळातल्या तारकाविश्वांच्या दीप्तिस्रोतात आसपासच्या, आपल्या वर्तमान काळातल्या तारकाविश्वांच्या दीप्तिस्रोतापेक्षा वाढ होती, कारण ती तारकाविश्वे अधिक

तारुण्यावस्थेतल्या ताऱ्यांची बनलेली आपण पाहतो. टिन्स्लेच्या विधानामागे मूळ गृहीतक आहे की सर्व तारकाविश्वे विश्वात जवळजवळ एकाच वैश्विक युगात (Cosmic Epoch) जन्माला आली आणि नंतर त्यांतील ताऱ्यांचे तेज हळहळू कमी कमी होत गेले. म्हणून आपण जितके लांबचे तारकाविश्व पाहू तितके ते कमी वयाचे असणार.

शिवाय तारकाविश्वांदरम्यानच्या प्रदेशात सुद्धा जर धुळी (Dust) चे वास्तव्य असले तर अंतर मोजायच्या निकषांवर परिणाम होतो. आपल्या आकाशगंगेतील धुळीचे अस्तित्व लक्षात आल्यावर खगोलशास्त्रज्ञांना त्यातील ताऱ्यांची अंतरे बदलावी लागली हे आपण गेल्या प्रकरणात पाहिले.

अशाप्रकारच्या कारणांमुळे विश्वाचे प्रसरण फ्रीडमन-प्रतिमान III प्रमाणे मंदावत आहे हे मानायला अजून सबळ पुरावा नाही. अशा प्रतिमानात विश्वाची घनता पुष्कळ असते आणि तितकी घनता अद्याप पहायला मिळत नाही हे ही आपण पूर्वीच नमूद केले.

जेव्हा QSO यांचा शोध लागला तेव्हा त्यांच्या ताम्रसृती जास्त असल्याचे निदर्शनास आले. चित्र क्र.–100 मधील चारही रेषांतली तफावत ताम्रसृतीप्रमाणे वाढत जाते आणि त्यामुळे QSO वापरून आपण विश्वाच्या प्रसरणाबद्दल महत्त्वाचे निष्कर्ष काढू शकू अशी आशा खगोलशास्त्रज्ञांना वाटत होती. पण लवकरच ती फोल ठरली. QSO चे हबल रेखाचित्र त्यांच्या ताम्रसृतीत आणि अभिव्यक्त प्रतीत कसलाही सहसंबंध दाखवत नाही हे आपण गेल्याच प्रकरणात पाहिले. त्यामुळे हा मार्गही सध्या बंदच आहे.

4. रेडियो-स्रोतांचे वेध : ज्याप्रमाणे तारकाविश्वांचे दृश्यप्रकाशांद्वारे घेतलेले वेध विश्व-रचनाशास्त्राला उपयोगी पडतात हे आपण पाहिले त्याचप्रमाणे रेडियो दुर्बिणींतून घेतलेले वेध पण पूर्वी विश्व कसे होते याची छाननी घेण्यासाठी वापरण्यात आलेत. अशा वेधांतून विश्वप्रतिमानांचे दोन निकष आपण आता पाहू.

चित्र क्र. 98 मधील रेखाचित्रात दोन तारकाविश्वांतील अंतर किती प्रमाणात वाढते ते S ने दाखवले आहे. जसे हे अंतर वाढते (म्हणजेच, विश्वाचे प्रसरण होत जाते) तसे विश्वातील तारकाविश्वांची घनता कमी होत जाते. रेडियो-स्त्रोताना पण हा नियम लागू आहे. अशी कल्पना करा की आज S चे मूल्य S_0 इतके आहे, आणि पूर्वी, नमुन्यादाखल समजा 3 अब्ज वर्षापूर्वी, S चे मूल्य S_1 इतके होते. त्याचा अर्थ असा की जर आजच्या काळात रेडियो-स्त्रोतांची घनता n_0 असेल तर 3 अब्ज वर्षापूर्वी ती

$$n_1 = n_0 \times \frac{S_0^3}{S_1^3}$$

इतकी होती. म्हणजे जर गेल्या तीन अब्ज वर्षात विश्वाचे प्रसरण इतके झाले असले की

कुठल्याही दोन तारकाविश्वांतले किंवा रेडिओस्रोतांमधले अंतर गेल्या तीन अब्ज वर्षांत दुप्पट झाले असेल, तर वरील नियमानुसार त्यांची घनता तीन अब्ज वर्षांपूर्वी आजच्यापेक्षा आठपट होती.

जेव्हा आपण विश्वातील लांबच्या वस्तूंचे वेध घेतो तेव्हा त्या पूर्वी कशा होत्या ते पाहतो. 3 अब्ज प्रकाशवर्षे इतक्या अंतरावरच्या वस्तू 3 अब्ज वर्षांपूर्वी कशा होत्या ते आपण पाहतो. त्यामुळे आपण जितक्या लांबीच्या भागांचे वेध घेऊ तितके जास्त भूतकालातल्या विश्वाचे आपण दर्शन घेतो. म्हणून वरील उदाहरणात जर आपण 3 अब्ज प्रकाशवर्ष अंतरावरील रेडियोस्रोतांची घनता मोजली तर आपल्या आसपासच्या रेडियोस्रोतांच्या घनतेपेक्षा ती जास्त असायला पाहिजे.

विश्वाच्या प्रसरणामुळे होणारी ताम्रसृती किती असते ? याचे उत्तर आइन्स्टाईनच्या व्यापक सापेक्षतच्या सिद्धांतातून मिळते आणि ते असे आहे. वरील उदाहरणात 3 अब्ज वर्षांपूर्वी S चे मूल्य S_1 होते आणि सध्या ते S_0 आहे याचा अर्थ, ज्यावेळी आपण 3 अब्ज प्रकाशवर्षे अंतरावरील गोष्टी पाहतो त्यावेळी त्या प्रकाशातील ताम्रसृती

$$z = \frac{S_0}{S_1} - 1$$

अशा नियमाने दिली जाते. उदाहरणार्थ, जर $S_0 = 2\,S_1$ तर ही ताम्रसृती $z = 1$ इतकी असणार.

आता आपण घनतावाढीच्या नियमाचा ताम्रसृतीच्या नियमाशी मेळ लावू. जर रेडियोस्रोतांची आजची घनता n_0 असेल तर z ताम्रसृती असलेल्या रेडिओस्रोतांची घनता

$$n_1 = n_0\,(1 + z)^3$$

इतकी असायला पाहिजे. (पडताळून पहा : $z = 1$ असे वरील समीकरणात घातले की $n_1 = 8\,n_0$ हा आपण पूर्वी काढलेला निष्कर्ष मिळतो.)

हा नियम प्रथम तारकाविश्वांबाबतीत वेधांनी पडताळून पहायचा प्रयत्न हबलने केला. तत्त्वत: त्याला असे पहायचे होते. समजा आपल्या आसपासच्या 1000 घन-मेगापार्सेक (= 10 मेगापार्सेक × 10 मेगापार्सेक × 10 मेगापार्सेक) घनफलाच्या जागेत 300 तारकाविश्वे आहेत. तर z इतकी ताम्रसृती असलेल्या तारकाविश्वांकडे पाहिले तर त्या भागातील इतक्याच घनफलाच्या जागेत $300 \times (1+z)^3$ इतकी तारकाविश्वे आहेत का? प्रत्यक्षात ह्या प्रश्नाचे उत्तर शोधण्यात हबलला अनेक अडचणी आल्या आणि त्याला तो प्रयत्न सोडून

द्यावा लागला. यातील दोन अडचणी म्हणजे एक तर तारकाविश्वांची ताम्रसृती फार जास्त नव्हती (हबलच्या काळात ती $z = 0.1$ पेक्षाही कमीच होती) आणि त्यामुळे घनतेची वाढ उल्लेखनीय नव्हती. दुसरी अडचण म्हणजे मोजायला लागणाऱ्या तारकाविश्वांची संख्या फार मोठी होती.

रेडिओ खगोलशास्त्रज्ञांनी हाच प्रयत्न रेडिओ स्रोतांच्या गणनेद्वारे करून पहायचा ठरवला. हबलला आलेल्या अडचणी रेडिओ स्रोतांबाबत येणार नाहीत असा त्यांचा विश्वास होता. कारण एक तर रेडिओ स्रोतांची संख्या तारकाविश्वांइतकी प्रचंड नाही. आणि दुसरे कारण म्हणजे रेडिओ स्रोतांची ताम्रसृती सर्वसाधारण तारकाविश्वांच्या ताम्रसृती पेक्षा फार मोठी असेल असा रेडिओ खगोलशास्त्रज्ञांचा विश्वास होता.

परंतु आपण आधी पाहिल्याप्रमाणे रेडिओ स्रोतांची ताम्रसृती मोजणे शक्य झाले नव्हते. आजही काही अपवादात्मक स्वरूपातच 21 से. मी. लांबीच्या लहरींची ताम्रसृती मोजणे शक्य होत आहे. म्हणून

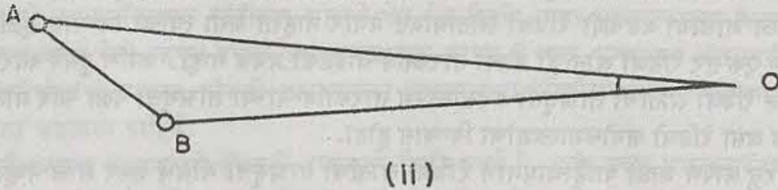
$$n_1 = n_0 \ (1 + z)^3$$

हा नियम प्रत्यक्ष पडताळून पहाणे रेडिओ खगोलशास्त्रज्ञाला साध्य झालेले नाही. ही उणीव भरून काढायला त्याने वापरलेला मार्ग असा. जर सर्व रेडिओ स्रोत सारख्याच दीप्तिस्रोताचे असले तर लांबच्या स्रोतांची ताम्रसृती जशी जास्त असेल तसेच त्यांच्याकडून आपल्या बाजूला येणारे रेडिओ लहरींचे प्रारण मंद असेल. म्हणून वरील नियमाचे रूपांतर त्यांनी असे केले. 'मंद स्रोतांची घनता तीव्र स्रोतांच्या घनते पेक्षा जास्त असली पाहिजे.' ती किती जास्त असली पाहिजे ते प्रत्येक विश्व-प्रतिमानातील गणित मांडून सांगता येते.

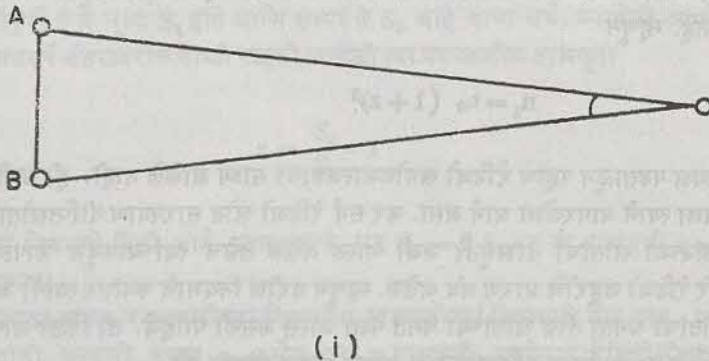
केंब्रिज विद्यापीठातील राइल (Ryle), ऑस्ट्रेलियात मिल्स (Mills) आणि अमेरिकेत बोल्टन (Bolton) यांनी अशा प्रकारच्या गणना प्रथम केल्या. त्यानंतर अशा तऱ्हेच्या गणना 1960—75 च्या काळात अनेक वेळा अनेक ठिकाणी केल्या गेल्या. त्यावरून मंदते प्रमाण घनतेची वाढ होताना दिसून आली. परंतु त्यावरून विश्वाच्या प्रसरणाबाबत, रचनेबाबत आणि वेगवेगळ्या प्रतिमानांबाबत माहिती मिळेल ही आशा मात्र निष्फळ ठरली. आणि यामागचे प्रमुख कारण म्हणजे वरील विचारसरणीतला सर्वात कमजोर दुवा. त्याची थोडक्यात चर्चा करून आपण दुसऱ्या निकषाकडे वळू.

हा दुवा म्हणजे रेडिओ स्रोतांची ताम्रसृती माहीत नसणे ! प्रत्यक्ष वेधांनी असे दिसून आले आहे की रेडिओ स्रोतांच्या दीप्तिस्रोतात पुष्कळ फरक असतो (पहा प्रकरण-6). सर्व रेडिओ-स्रोत सारख्या दीप्तिस्रोताचे नसतात. त्यामुळे आपल्याला मंद वाटणारा रेडिओ स्रोत लांबचा आणि अधिक दीप्तिस्रोताचा आहे, का जवळचा आणि कमी दीप्तिस्रोताचा आहे हे कळायला

मार्ग नाही. त्यामुळे वेधातून काढलेल्या निष्कर्षाची धार बोथट होते. जेव्हा रेडिओ स्रोतांची दृश्य प्रकाशाच्या स्रोतांशी सांगड घालून त्या स्रोतांची ताम्रसृती मोजणे शक्य होईल तेव्हाच ह्या निकषाकडे पुन्हा पहावे. त्याच प्रमाणे रेडिओस्रोत कसे असतात यांची विश्वसनीय माहिती मिळेपर्यंत अशा प्रकारच्या गणनेतून विश्वाबद्दल माहिती मिळेल असे वाटत नाही.



(ii)

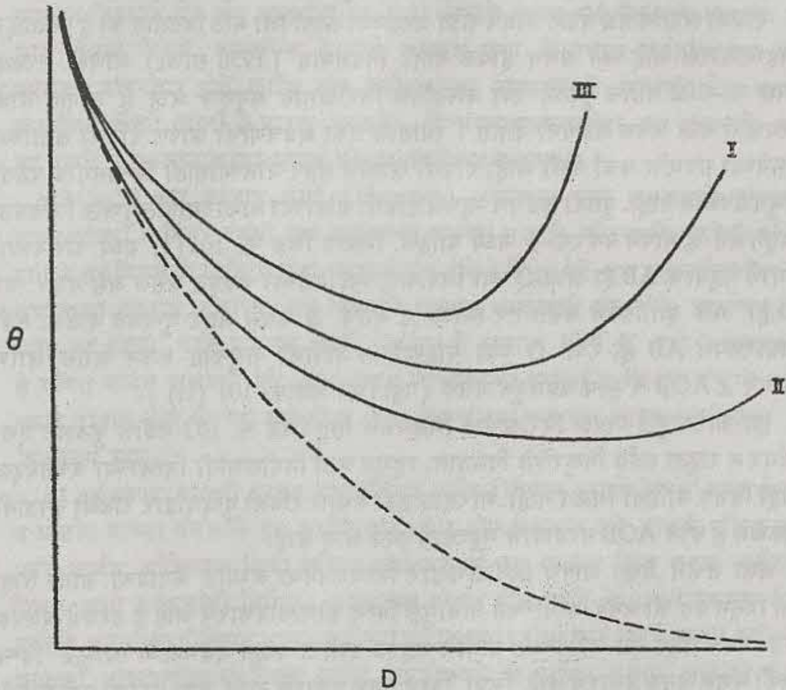


(i)

चित्र क्रमांक 101 : AB ह्या रेडिओस्रोताने O ह्या निरीक्षकावर टाकलेला कोन (i) मध्ये AB हा निरीक्षणाच्या दिशेशी काटकोन करून आहे. अशावेळी $<AOB$ सर्वात जास्त असतो. (ii) मध्ये AB ओणवा आहे आणि त्यामुळे $<AOB$ कमी होतो.

दुसऱ्या निकषाची माहिती करून घेण्यासाठी चित्र क्रमांक -101 पहा. त्यात एक रेडिओ स्रोत AB आणि एक लांबून पाहणारा निरीक्षक O दाखवले आहेत. प्रकरण–6 मध्ये सर्वसाधारण रेडिओ स्रोताचे जे वर्णन केले होते त्यात त्याच्या दोन भागातून प्रारण होते असे सांगितले होते. चित्र क्र. -101 मधील रेडिओ स्रोतात A आणि B हे ते प्रारण करणारे भाग समजावे. रेडिओ दुर्बिणीतून आपल्याला AOB हा कोन मोजता येतो. याला AB ने O वर टाकलेला कोन म्हणतात.

जर सारख्याच आकाराचे रेडिओ स्रोत वेगवेगळ्या अंतरावरून पाहिले तर हा कोन वाढत्या अंतराबरोबर कमी होत जातो–निदान होत जावा अशी आपली अपेक्षा असते. पृथ्वीवर आपल्याला दूरची गोष्ट लहान वाटते कारण त्या वस्तूने आपल्या डोळ्यावर (वर सांगितल्या प्रमाणे) टाकलेला कोन लहान असतो, आणि ह्या कोनाद्वारे आपल्या मेंदूत वास्तविक आकारमानाची कल्पना नोंदवली जाते. चित्र क्रमांक–102 मध्ये वाढत्या अंतरा प्रमाणे हा कोन AOB कसा कमी होत जातो ते टिंबांकित रेषेने दाखवले आहे.



चित्र क्रमांक 102 : लांबच्या रेडियोस्रोतांनी टाकलेले कोन (θ) हे त्यांच्या अंतरा (D) नुसार कसे बदलतात ते दाखवले आहे. फ्रीडमन प्रतिमानात θ आधी लहान होतो आणि मग परत वाढतो. ही वाढ प्रतिमान III मध्ये सर्वात आधी सुरू होते. (टिंबांकित रेषा युक्लिडच्या भूमितीस अनुसरून आहे.)

पण हा कोन आणि अंतर यांच्यातला पारस्परिक संबंध भूमितीच्या नियमांवर आधारलेला असतो. टिंबांकित रेषेने दर्शवलेला संबंध युक्लिडच्या भूमितीवर आधारलेला आहे. विश्वाच्या

रचनेला जर युक्लिडची भूमिती लागू होत नसेल तर हा पारस्परिक संबंध पण वेगळचा प्रकारचा आहे असे म्हणावे लागेल. चित्र क्र. 102 मध्य I, II, आणि III यांच्या द्वारे दर्शवलेल्या रेषा अनुक्रमे फ्रीडमन प्रतिमान I, II, III मधील कोन आणि अंतर यांचा पारस्परिक संबंध दाखवतात.

त्यावरून असे दिसून येते की एक ठराविक अंतरा पर्यंत ह्या कोनात वाढत्या अंतरानुसार घट होत जाते; पण पुढे ही घट थांबून वाढ सुरू होते ! म्हणजे खूप लांबची वस्तू जवळच्या वस्तू पेक्षा मोठी दिसेल. ही किमया अयुक्लिडीय भूमितीची आहे.

रेडिओ स्रोतांचे वेध घेऊन लांबचे स्रोत जवळच्या स्रोतांपेक्षा मोठे दिसतात का हे पडताळून पाहण्यासारखे आहे असे प्रथम हॉयेल यांनी निदर्शनास (1958 साली) आणले. तत्त्वत: चित्र क्र.–102 मधील कुठली रेषा वास्तविक निरीक्षणांस अनुकूल आहे हे सांगता यावे. प्रत्यक्षात मात्र अनेक अडचणी येतात ! त्यांतील एका अडचणीची आपण रेडिओ स्रोतांच्या गणनेच्या संदर्भात चर्चा केली आहे: रेडिओ स्रोतांचे अंतर मोजण्यासाठी विश्वसनीय पद्धती अजून उपलब्ध नाही. दुसरी अडचण म्हणजे रेडिओ स्रोतांच्या आकारमानात पुष्कळ विविधता दिसून येते हे आपण प्रकरण–6 मध्ये पाहिले. शिवाय चित्र क्र. 101(i) मध्ये दाखवल्या-प्रमाणे नेहमीच AB हा स्रोत O च्या निरीक्षणाच्या दिशेच्या लंबवत असेल असे नाही. जर O हा AB ह्या दिशेने असेल तर त्याला A आणि B मधले अंतर शून्यवत वाटेल. सर्व-साधारणपणे AB ही रेषा O च्या पाहण्याच्या दिशेशी लघुकोन करून असेल आणि त्यावर ∠AOB चे मूल्य अवलंबून असेल (पहा चित्र क्रमांक–101 (ii)).

ह्या कारणांमुळे प्रत्यक्ष निरीक्षणाने मिळवलेले बिंदू चित्र क्र. 102 मधील कुठल्या एका रेषेवर न राहता सर्वत्र विखुरलेले दिसतात. म्हणून अशा निरीक्षणांनी विश्वाच्या रचनेबद्दल काही विशेष माहिती मिळत नाही. भारतात ऊटी येथील रेडिओ दुर्बिणीद्वारे रेडिओ स्रोतांनी टाकलेले हे कोन AOB मोजण्याचे महत्त्वाचे कार्य चालू आहे.

अशा तऱ्हेने जेव्हा आपण निरीक्षणांद्वारे विश्वरचनेचा अभ्यास करायला जातो तेव्हा असे दिसून येते की अनेक अनिश्चित बाबींमुळे विश्व कोणत्याप्रकारचे आहे हे ठरवणे अवघड आहे. बरच वेळा ह्या अनिश्चित बाबींचे महत्त्व उशीरा कळून येते आणि त्यामुळे 'विश्व नक्की अमुक अमुक प्रकारचे आहे' किंवा 'विश्व तमुक प्रकारचे नाही' अशा सारखी पूर्वी केलेली विधाने खगोलशास्त्रज्ञाला मागे घ्यावी लागली आहेत.

याचा अर्थ असा की विश्वरचनाशास्त्र हे विज्ञानाचा भाग बनल्यामुळे इथे निव्वळ तर्कांना जागा नाही. विश्वासंबंधी केलेल्या अटकळी निरीक्षणाद्वारे सिद्ध करता आल्या पाहिजेत. अद्याप निरीक्षणांनी ती पातळी गाठली नाही. त्यातील अनिश्चित भाग कमी करण्यात शास्त्रज्ञांनी जरी यश मिळवले असले तरी अजून अनेक वादग्रस्त मुद्दे शिल्लक आहेत. त्यामुळे विश्वरचनेवर 'शेवटचा शब्द' अजून बोलला गेला नाही.

सूक्ष्मतरंगांचे प्रारण

1965 साली पेंझियास (Penzias) आणि विल्सन (Wilson) ह्या दोन खगोलतंत्रज्ञ आणि खगोलशास्त्रज्ञांच्या जोडीने एक महत्त्वाचा शोध लावला. अनेक शास्त्रज्ञांच्या मते हबलच्या शोधानंतर विश्वरचनाशास्त्राच्या इतिहासातला हा सर्वात महत्त्वाचा शोध आहे. आपण आता त्याची माहिती करून घेऊ.

पेंझियास आणि विल्सन यांना 7.3 से.मी. लहर लांबीच्या सूक्ष्मलहरी (Microwaves) वापरून विश्वाचे वेध घेत असताना ह्या लहर लांबीचे प्रारण सर्व दिशातून सारख्या प्रमाणात येताना दिसले. वास्तविक हे दोघे शास्त्रज्ञ एका वेगळ्याच प्रयोगांकरता आपले उपकरण वापरणार होते आणि त्या प्रयोगाकरता उपकरणाची चाचणी घेत असताना अनपेक्षित रीत्या त्यांना हे प्रारण गवसले. विश्वरचनाशास्त्रज्ञांना ह्या प्रारणाचे महत्त्व का वाटले हे समजण्याकरता आपण इतिहासाकडे नजर टाकूया.

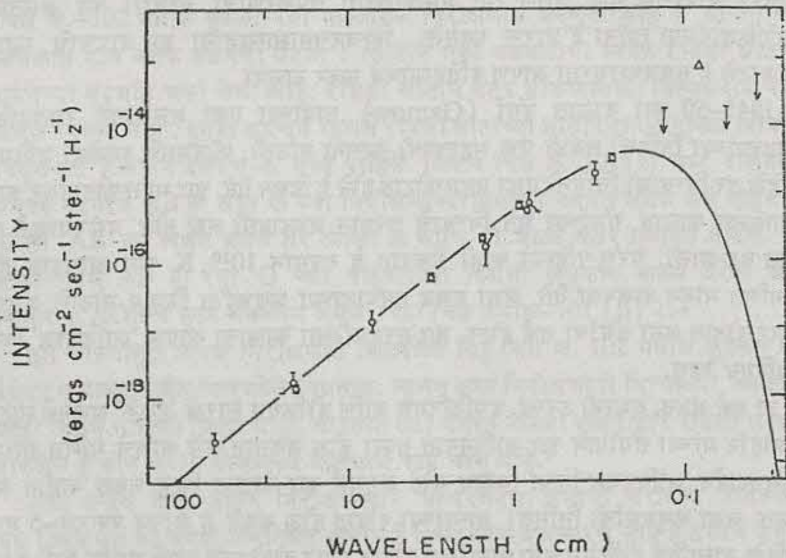
1945–50 च्या काळात गॅमॉ (Gamow) नावाच्या एका शास्त्रज्ञाने रासायनिक मूलतत्त्वांच्या निर्मिती संबंधी एक महत्त्वाची कल्पना मांडली. फ्रीडमनचे कुठलेही प्रतिमान पाहिले तर विश्वाची निर्मिती एका महास्फोटात होते हे दिसून येते. ह्या महास्फोटानंतर काही क्षणातल्या काळात, गॅमॉच्या मते विश्वाचे तपमान अब्जावधी अंश होते. प्रसरणामुळे पुढे त्यात घट झाली. परंतु पहिल्या काही सेकंदात हे तपमान 10^{10} K च्या आसपास होते हे गणित मांडून दाखवता येते. अशा प्रचंड तपमानाच्या अणुभट्टीत शिजून मोठाले अणुगर्भ तयार होतात असा गॅमॉचा तर्क होता. ह्या सुरवातीच्या काळाला आपण 'आदिकाळ' किंवा 'आदियुग' म्हणू.

हा तर्क अंशतः यशस्वी ठरला. ड्यूटिरियम आणि हीलियम सारखे 'हलके' अणुगर्भ न्यूट्रॉन व प्रोटॉन यांच्या संयोगाने ह्या आदियुगात तयार होऊ शकतात असे आजचे गणित सांगते. परंतु कार्बन, ऑक्सिजन किंवा त्याहून मोठे अणुगर्भ ह्या काळात शिजू शकत नाहीत असे दिसत. अशा अणुगर्भांची निर्मिती ताऱ्यांच्या पोटात होऊ शकते हे आपण प्रकरण–5 मध्ये पाहिले. वास्तविक हीलियम सुद्धा ताऱ्यांच्या पोटात तयार होतो परंतु त्याचे प्रमाण कमी असते. आपल्या आकाशगंगेत हीलियम आणि हायड्रोजनचे जे परस्पर प्रमाण आढळते त्याच्या चतुर्थांशानेच हे प्रमाण असते. म्हणून हीलियमची निर्मिती अन्य मार्गाने पण होत असावी असे अनेक खगोलशास्त्रज्ञांना वाटते. आणि गॅमॉच्या सिद्धांताप्रमाणे विश्वाच्या आदियुगात हे शक्य आहे. ड्यूटिरियमचे प्रमाण पुष्कळ कमी असले (हायड्रोजनच्या तुलनेने लक्ष्यांश) तरी तितके सुद्धा सर्वसाधारण ताऱ्यात तयार होऊ शकत नाही. इथे सुद्धा गॅमॉने सुचवलेला मार्ग उपयोगी पडतो.

गॅमॉ आणि त्याचे सहकारी आल्फर (Alpher) आणि हरमन (Hermann)

यांनी असे ही भाकीत केले होते की आदिकाळातले प्रारण काळ्या बंदिस्त प्रारणा (Black Body Radiation) च्या स्वरूपात असेल. जरी आदिकाळात त्याचे तपमान 10^{10}°K च्या आसपास असले तरी पुढे ते थंड होते. आणि त्याच्या मूलकणांशी होणाऱ्या प्रक्रिया थंडावतात. असे हे प्रारण पुढे निष्क्रिय स्वरूपात थंड होत आज अवशेषाच्या स्वरूपात विश्वात सर्वत्र सापडेल असा गॅमॉ प्रभृतींचा अंदाज होता.

पेंझियास आणि विल्सन यांना सापडलेले प्रारण ह्या स्वरूपाचे अवशिष्ट प्रारण असावे असा तर्क विश्वरचना शास्त्रज्ञांनी केला. मग त्याची वर्णपंक्ती काळ्या बंदिस्त प्रारणाप्रमाणे असणे आवश्यक आहे. चित्र क्रमांक–103 मध्ये ही वर्ण पंक्ती दाखवली आहे. 2.7°K



चित्र क्रमांक 103 : सूक्ष्मतरंगांच्या प्रारणाची प्रखरता लहरलांबीप्रमाणे कशी बदलते ते दाखवले आहे. निरिक्षणबिंदूतून जाणारी रेषा काळ्या बंदिस्त प्रारणाची आहे. त्यावरून प्रारणाचे तपमान 2.7°K ठरवण्यात येते.

तपमानाच्या काळ्या बंदिस्त प्रारणाची वेगवेगळ्या लहरलांबीतली प्रखरता दाखवणाऱ्या रेषेची प्रत्यक्ष निरीक्षणातून मिळवलेल्या बिंदूशी तुलना केल्यास हे प्रारण काळे बंदिस्त प्रारण असल्याबद्दल शंका राहत नाही. पेंझियास आणि विल्सनच्या पश्चात अनेक शास्त्रज्ञांनी वेग-वेगळ्या लहर लांबीतून विश्वाचे वेध घेऊन हे सिद्ध केले आहे. मात्र ज्या लहर लांबीत

सर्वात जास्त प्रखरता असते ती 1 मिलीमीटरच्या आसपास असून त्या भागात किंवा त्याहून अल्प लहर लांबीच्या भागातील प्रारण मोजण्यासाठी पृथ्वीच्या वातावरणाबाहेर जाऊन वेध घ्यावे लागतात. हे अवघड कार्यपण अलिकडेच साध्य झाले आहे. वुडी (Woody) आणि रिचर्डस (Richards) यांनी घेतलेल्या वेधांत आणि काळचा बंदिस्त प्रारणात थोडी तफावत आढळली आहे.

जर हे प्रारण खरोखरच आदिकाळातल्या 'गरम विश्वा'तल्या प्रारणाचे अवशेष स्वरूप असेल तर त्याने महास्फोटाच्या सिद्धांताला दुजोरा मिळतो. मात्र हे प्रारण आपल्याला महा-स्फोटाच्या काळापर्यंत डोकावू देत नाही ! याचे कारण असे. अशी कल्पना करा कीं आपण पुष्कळ सुधारलेली दुर्बीण वापरून खूप लांब पर्यंत पाहू शकतो. जर विश्वनिर्मिती दहा अब्ज वर्षापूर्वी झाली असेल तर आपण 10 अब्ज प्रकाशवर्ष लांब पाहिल्यास आपल्याला महास्फोटाचे दर्शन घडले पाहिजे परंतु सूक्ष्म तरंगांचे हे आजचे प्रारण भूत कालात आजच्या पेक्षा अधिक प्रखर होते. त्यामुळे त्याच्या पार्श्वभूमित अमुक एक गोष्ट पाहणे हे वाढत्या अंतरा प्रमाणे अधिक अवघड होत जाते. म्हणून सुमारे 1000 ताम्रसृती पेक्षा जास्त ताम्रसृतीवाले पदार्थ आपल्याला दिसणे शक्य नाही असे आजचे गणित सांगते. त्या काळी ह्या प्रारणाचे तपमान 3000°K च्या घरात होते. आणि महास्फोट होऊन सुमारे एक लक्ष वर्षे झाली असणार. त्यापूर्वी विश्व कसे होते हे मात्र सांगणे कठीण आहे कारण आपल्या निरीक्षणांवर वरील प्रकारे मर्यादा येते.

स्थिर स्थितीच्या विश्वाचा सिद्धांत

1948 साली बॉण्डी (Bondi), गोल्ड (Gold) आणि हॉयेल (Hoyle) ह्या तिघा खगोलशास्त्रज्ञांनी विश्वरचनेचा एक नवा सिद्धांत मांडला. तो स्थिरस्थितीचा सिद्धांत (Steady State Theory) म्हणून ओळखला जातो. हा सिद्धांत मांडताना त्यांनी महास्फोटाच्या सिद्धांतातील काही उणीवा दूर करण्याचा प्रयत्न केला. त्या उणीवा अशा प्रकारच्या आहेत :

1) विश्वाचा आरंभ महास्फोटात झाला असे म्हटले तर हा स्फोट कुठल्या कारणामुळे झाला, अमुक वेळीच का झाला, स्फोटापूर्वी कशाचे अस्तित्व होते इत्यादी प्रश्नांची उत्तरे महास्फोटाच्या सिद्धांतात नाहीत.

2) विश्वात पदार्थ प्रथम कसे अस्तित्वात येतात याची महा स्फोटाच्या सिद्धांतात माहिती मिळत नाही.

3) महास्फोटाच्या क्षणी अवकाश-कालाची भूमिती अशा विशिष्ट (Singular) स्थितीत होती की तिचे गणितीय वर्णन करणे शक्य होत नाही कारण सर्व गणितीय समीकरणे

त्या क्षणीं मोडकळीला येतात. एखाद्या भौतिक शास्त्रीय सिद्धांतात अशा प्रकारची विशिष्ट परिस्थिती येणे हा त्या सिद्धांताचा दोष समजला जातो.

याशिवाय 1948 मध्ये हबल स्थिरांकाचे माप सुमारे 530 कि. मी. प्रति सेकंद प्रति मेगापार्सेक, म्हणजे आजच्या अंदाजाच्या 7 ते 10 पटीने जास्त समजले जात असे. त्यामुळे फ्रीडमन प्रतिमानातील विश्वाचे वय दोन अब्जवर्षे यापेक्षा जास्त नव्हते आणि हा आकडा पृथ्वीच्या वयापेक्षाही कमी होता ! तेव्हा फ्रीडमन प्रतिमानात निश्चित काही तरी चूक असेल अशी बऱ्याच खगोलशास्त्रज्ञांची धारणा होती. परंतु हबलस्थिरांकाची मोजमाप पुन्हा केल्यावर त्यामागे हबलची अंतर मोजण्यात झालेली चूक निदर्शनास आली. ह्या चुकीची चर्चा प्रकरण–6 मध्ये थोडक्यात केली होती. आजच्या हबल स्थिरांकाप्रमाणे विश्वाचे वय वाढले असल्याने ही उणीव तितकी महत्त्वाची नाहीं.

तथापि वर सांगितलेल्या तीन उणीवा आजही आहेत आणि त्यामुळे स्थिरस्थितीतल्या विश्वाची थोडक्यात चर्चा अवास्तव होणार नाहीं. प्रथम आपण बॉण्डी आणि गोल्ड यांच्या दृष्टीकोनातून ह्या विश्वाकडे पाहूया.

ह्या दोघा शास्त्रज्ञांनी विश्वरचना तत्त्वातच एक फरक केला. त्यांच्या मते हे तत्त्व विश्वरचनाशास्त्राचा अभ्यास करण्यास पुरेसे व्यापक नाहीं. जेव्हा आपण लांबच्या तारकाविश्वाचे वध घेतो आणि त्यांतून ताम्रसृतीसारखे निष्कर्ष काढतो तेव्हा त्याच्या मुळाशी असे गृहीतक असते की भौतिक शास्त्राचे जे नियम आज इथे आपल्याला दिसतात तेच नियम त्या लांबच्या तारकाविश्वात भूतकालातही अस्तित्वात होते. समजा भौतिक शास्त्रातले नियम (हे विश्वाचेच घटक असल्याने, कारण विश्वात सर्व काही येते!) देखील बदलत्या विश्वात बदलत असले तर ? अशा परिस्थितीत वर सांगितलेली लांबच्या वेधांची जवळच्या वेधांशी तुलना कशी करायची ? ही अनिश्चित परिस्थिती टाळायला बॉण्डी आणि गोल्ड यांनी एक नवे तत्त्व मांडले आणि त्याला 'परिपूर्ण विश्वरचनातत्व' (Perfect Cosmological Principle) असे नाव दिले.

ह्या तत्त्वाप्रमाणे विश्व कुठल्याही क्षणी एकविध (Homogeneous) आणि समदशिक (Isotropic) तर असतेच, शिवाय त्यांत वैश्विककाला प्रमाणे बदल होत नाहीत. म्हणजे विश्व अपरिवर्तनशील किंवा स्थिरस्थितीत आहे असे हे तत्त्व सांगते. अर्थात ह्या तत्त्वाप्रमाणे विश्वात बदल होत नसल्याने त्यातील भौतिक शास्त्राचे नियम ही कालानुसार बदलण्याची शक्यता उद्‌भवत नाहीं.

ह्या स्थिर स्थितीची व्याख्या अधिक स्पष्ट करणे आवश्यक आहे. स्थिर याचा अर्थ स्थितिशील (Static) नव्हे. तसेच विश्वातील घटकांत परिवर्तन अवश्य होत राहते. तारे वयानुसार बदलतात, तारकाविश्वांत परिवर्तन होते. फक्त सरासरी मोठ्या प्रमाणावरचे विश्वाचे चित्र अपरिवर्तनीय असते. उदाहरणार्थ आज आपण विश्वाचे वेध घेऊन त्यात किती

प्रकारची तारकाविश्वे किती संख्येने आहेत याची नोंद घेतली तर ह्या नोंदींत आणि दहा अब्ज वर्षानंतरच्या (किंवा दहा अब्ज वर्षापूर्वीच्या) अशाच नोंदीत काही फरक दिसून येणार नाही. एखाद्या संथ वाहणाऱ्या नदीचे चित्र आज-उद्या परवा तसेच दिसेल परंतु त्याचा अर्थ पाण्याचा प्रवाह थांबला असा होत नाहीं. त्याचप्रमाणे प्रसरणशील विश्व सुद्धा स्थिरस्थितीत असू शकते.

आता अशी कल्पना करा की विश्वाचे प्रसरण चालू आहे आणि आपण वेगवेगळ्या वैश्विक-काली त्याची घनता मोजत आहो. परिपूर्ण विश्वरचनातत्वाप्रमाणे ही घनता स्थिर असायला पाहिजे. पण प्रसरणाबरोबर घनता कमी होते हे आपण फ्रीडमन प्रतिमानांच्या संदर्भात पाहिले. ह्या परस्पर विरोधी गोष्टींचा मेळ कसा बसवायचा ? बॉण्डी आणि गोल्ड यानी यातून असा निष्कर्ष काढला कीं प्रसरणामुळे घनतेत होणारी घट भरून काढायला नवीन पदार्थाचे संतत सृजन (Continuous Creation) चालू पाहिजे. हबलच्या नियमानुसार आपल्या आकाशगंगेच्या शेजारची तारका विश्वे लांब जात आहेत. दहा अब्ज वर्षांनी ती सर्व आपल्या दृष्टिपथापलिकडे गेली असतील. पण त्यांच्या दूर जाण्यामुळे निर्माण झालेली पोकळी भरून काढायला नवीन तारकाविश्वे आपल्या आसपास आली पाहिजेत, कारण विश्वाचे एकूण चित्र पहिल्या सारखेच असले पाहिजे. ही तारका विश्वे पदार्थांच्या संतत-सृजनातून निर्माण झाली असली पाहिजेत.

महास्फोटाच्या सिद्धातांत विश्वाचा आरंभ सुमारे 10 अब्ज वर्षापूर्वी झाला आणि त्या स्फोटात सर्व वस्तूंचे सृजन झाले. स्थिर स्थितीच्या विश्वात विश्व अनादि आणि अनंत आहे आणि त्यांत संतत सृजन चालू राहते. जर विश्वाची घनता ρ_0 असेल तर ती टिकवण्या-साठी सृजनाचा सरासरी वेग

$$Q = 3H\rho_0$$

इतका पाहिजे. जर विश्वाची सध्याची घनता $\rho_0 \cong 10^{-27}$ ग्राम प्रतिलिटर मानली तर हा सृजनाचा वेग लिटर मध्ये दर सेकंदाला जवळ जवळ 1.5×10^{-45} ग्राम इतका सूक्ष्म आहे. म्हणजे एक किलोमीटर $\times$ एक किलोमीटर $\times$ एक किलोमीटर घन फळात एकच ग्राम पदार्थाचे सृजन होण्यासाठी आपल्याला जवळ जवळ 2 कोटी अब्ज अब्ज वर्षे थांबावे लागेल. हा पदार्थ सृजनाचा वेग इतका कमी असला तरी आजवर सुस्थापित असलेल्या वस्तूच्या अक्षय्यतेच्या सिद्धांताच्या (Principle of Conservation of matter) विरुद्ध आहे असा आक्षेप अनेक शास्त्रज्ञांनी घेतला अर्थात हा आक्षेप महास्फोटातील विश्वनिर्मितीच्या क्षणी सुद्धा लागू पडतो हे अनेक आक्षेपकांच्या लक्षात आले नाही !

संतत पदार्थ सृजन कसे होते, कुठे होते, इत्यादी प्रश्नांची उत्तरे मात्र बॉण्डी आणि गोल्ड

देऊ शकले नाहीत. हॉयेल यांनी ह्या दृष्टिकोनातून स्थिरस्थितीच्या विश्वाकडे आपला मोर्चा वळवला. आइन्स्टाइनच्या मूल समीकरणात थोडे बदल करून वस्तूंच्या अक्षय्यतेच्या सिद्धांताचा विरोध न करता संतत सृजन कसे होऊ शकते हे त्यांनी दाखवले. आणि अशा समीकरणातून स्थिर स्थितीच्या विश्वाचे उत्तर कसे मिळते हे पण त्यानी सिद्ध केले. प्राइस (Pryce) नावाच्या शास्त्रज्ञांनी सृजन-समीकरणे मांडली त्यांचा उपयोग करून हॉयेलनी आणि मी पदार्थ सृजनाबद्दलच्या वरील प्रश्नांची उत्तरे दिली. पदार्थ सृजनाच्या वेगाचा विश्वाच्या प्रसरणाच्या वेगाशी पण संबंध आहे हे ह्या कार्यातून दिसून येते. अशा तऱ्हेने सृजनासंबंधीच्या आक्षेपांना उत्तर मिळाले.

परंतु प्रत्यक्ष निरीक्षणांतून, वेधांतून स्थिरस्थितीच्या सिद्धांताला पुष्टी मिळते काय ? याच्या समर्थकांचा असा दावा होता की ह्या सिद्धांतातून निश्चित प्रकारची भाकीते मिळतात. त्यामुळे पडताळून पाहण्याच्या दृष्टीने हा सिद्धांत सोपा आहे. त्या उलट महास्फोटाच्या सिद्धांतातून निश्चित भाकीते निघत नाहीत. उदाहरणार्थ जरी चित्र क्र. -98 मध्ये I, II, III अशी तीन प्रकारची फ्रीडमन प्रतिमाने दाखवली आहेत तरी II आणि III च्या रेषा अनन्य स्वरूपाच्या नाहीत. त्या आपापल्या वर्गांच्या द्योतक स्वरूपाच्या आहेत. म्हणून जर खगोलशास्त्रीय वेधातून एखादे प्रतिमान अयोग्य सिद्ध झाले तरी जोपर्यंत बाकीची सर्व प्रतिमाने अयोग्य सिद्ध होत नाहीत तोपर्यंत महास्फोटाचा सिद्धांत हयात राहतो, शिवाय ह्या सिद्धांतात विश्वात बदल होण्याची शक्यता असल्याने त्यातील घटकात अनेक प्रकारचे बदल घडवून आणून त्या सिद्धांतात आणि प्रत्यक्ष निरीक्षणात साम्य घडवून आणण्याची पळवाट मोकळी आहे. उदाहरणार्थ, जेव्हा रेडिओस्त्रोतांच्या गणनेत असे दिसून आले की त्या गणनेत आणि फ्रीडमन प्रतिमानाच्या भाकीतात तफावत आहे तेव्हा अनेक खगोलशास्त्रज्ञांनी असा दावा केला की फ्रीडमन प्रतिमानात रेडिओस्त्रोत अस्तित्वात येण्याची शक्यता आज पेक्षा पूर्वी जास्त होती.

स्थिरस्थितीचा सिद्धांत विश्व अपरिवर्तनशील आहे असे सांगत असल्याने त्यात अशा तऱ्हेच्या पळवाटांना स्थान नाही. म्हणून हा सिद्धांत आज टिकाऊ आहे का टिकाऊ आहे ह्या प्रश्नाचे उत्तर महत्वाचे आहे.

ह्या प्रकरणात विश्वरचना शास्त्रातील ज्या चारपाच वेधांची आपण चर्चा केली त्या वेधांनी प्रथम ह्या सिद्धांताला टाकाऊ ठरवले. परंतु पुढे त्या वेधांतली अनिश्चितता नजरेस आल्यामुळे त्या निरीक्षकांच्या आक्षेपांना आज महत्त्व दिले जात नाही. परंतु सूक्ष्म तरंगांचे प्रारण हा वेधमात्र स्थिरस्थितीच्या सिद्धांताला आजवर मारक ठरला आहे. ज्या प्रमाणे महास्फोटानंतरच्या प्रारणाचे अवशेष म्हणून ह्या प्रारणाकडे पाहिले जाते तसे स्थिरस्थितीच्या विश्वात शक्य नाही. कारण त्या विश्वात पूर्वी तपमान फार जास्त होते असे म्हणायला जागा नाही. पूर्वीचे विश्व आजच्या प्रमाणेच होते असे परिपूर्ण विश्वरचना तत्त्व सांगते. मग सूक्ष्म-

तरंगांचे प्रारण स्थिर स्थिती-विश्वात कसे आले ?

ही कारणमीमांसा करणे आजवर शक्य झाले नाही आणि हे जोपर्यंत शक्य होत नाही तोपर्यंत स्थिरस्थितीविश्व हे 'टाकाऊ' सदरात बसणार. अशी कारणमीमांसा शोधण्याचे काम मात्र चालू आहे.

परंतु काही झाले तरी आपल्या निर्मितीपासून दोन-अडीच दशके ह्या सिद्धांताने विलक्षण तग धरला आणि महास्फोट-विरूद्ध स्थिरस्थिती ह्या वादातून अनेक खगोलशास्त्रीय वेधांना चालना मिळाली त्याचप्रमाणे ताऱ्यांतून अणुगर्भांची निर्मिती होते हे सिद्ध करण्यामागे पण ह्या सिद्धांताचीच प्रेरणा होती. जेव्हा महास्फोट जनित उच्चतपमानाअभावी स्थिरस्थितीच्या विश्वात मोठे अणुगर्भ कसे तयार झाले असा आक्षेप घेण्यात आला तेव्हा ह्या सिद्धांताच्या समर्थकांनी ताऱ्यांच्या पोटात हे घडणे शक्य आहे असे दाखवले. अशा प्रकारे विश्वरचनेच्या शास्त्रात स्थिरस्थितीच्या सिद्धांताने महत्त्वाची कामगिरी बजावली आहे.

उपसंहार

विश्वरचना शास्त्रातील आजच्या परिस्थितीतला धावता आढावा आता पूर्ण झाला आहे. महास्फोटाचा सिद्धांत बहुजनमान्य आहे पण सर्वमान्य नाही. सूक्ष्मतरंगांचे प्रारण हा महास्फोटाच्या सिद्धांताला पुष्टी देणारा सर्वात महत्त्वाचा पुरावा समजला जातो. इतर पुरावे अनिश्चित स्वरूपाचे आहेत.

परंतु अजून हा विषय संपला नाही : उलट त्याला सुरुवात होत आहे असेच म्हणणे योग्य होईल. कारण बऱ्याच प्रश्नांचा छडा लागायचा आहे, त्यातील काही प्रश्नांचा आढावा शेवटल्या प्रकरणात घेण्यात येईल. बॉण्डी-गोल्ड-हॉयेल यांनी महास्फोटाच्या सिद्धांतावर घेतलेले आक्षेप अजूनही अनुत्तरीत आहेत. कदाचित आपली विश्वाकडे पाहण्याची दृष्टी अजूनही संकुचित असेल. महास्फोटाचे स्वरूप वैश्विक नसून विश्वाच्या एका भागापर्यंतच मर्यादित असण्याची शक्यता नाकारता येणार नाही. सूक्ष्म तरंगाचे प्रारण किती लांब पर्यंत पसरले आहे? ते विश्वभर पसरले आहे का आपल्या आकाशगंगेच्या आसमंतातच आहे—याची माहिती मिळवणे आवश्यक आहे.

अंतराळातून दृश्य प्रकाशाचे वेध घेणारी एक मोठी दुर्बीण ह्या दशकात साकार होणार आहे. अंतराळातून स्पेस लॅब (Space–lab) सारख्या यानांतून पुढ पुष्कळ उपयोगी माहिती मिळण्याची शक्यता आहे. म्हणून आजच विश्वरचने बद्दल आपल्याला सर्व काही समजले असे मानन घेण्यात शहाणपणा नाही.

८. उपसंहार

गेल्या चार प्रकरणात आपण आधुनिक खगोलशास्त्रातून विश्वाचे दशन घेतले. आपल्या पृथ्वी पासून प्रसरण पावणाऱ्या विश्वापर्यंत निरनिराळे विषय शास्त्रीय दृष्टिकोनातून कसे हाताळले जात आहेत याची थोडी कल्पना वाचकास यावी हा या पुस्तकामागचा हेतू होता आणि तो अंशत: तरी साध्य झाला असेल अशी आशा आहे.

शास्त्रीय दृष्टिकोनातून एखाद्या विषयाकडे पाहायचे ठरवले की एक तऱ्हेची शिस्त पाळावी लागते हे प्रारंभीच नमूद केले होते. अशा शिस्तीतून आधुनिक खगोलशास्त्रज्ञ पुढे वाटचाल करीत आहे. त्यासाठी त्याने भौतिक शास्त्रावर आपली भिस्त टाकली आहे. प्रकरण-2 मधील भौतिक शास्त्रातील नियमांच्या मर्यादेत राहून शक्य तितकी खगोल शास्त्रीय कारणमीमांसा करायची असा त्यांचा उद्देश असतो. परंतु त्याचा अर्थ असा नव्हे की ह्या प्रणालीचा फायदा एकतर्फीच व्हावा. ज्याप्रमाणे भौतिक शास्त्राचा फायदा खगोलशास्त्राला होतो त्याच प्रमाणे खगोल शास्त्रापासून भौतिक शास्त्राच्या ज्ञान भांडारात ही भर पडते. विश्वात पृथ्वीच्या मर्यादेपलिकडे घडणाऱ्या घटना अवकाश, काल, ऊर्जा इत्यादी अनेक बाबतीत अशा प्रचंड प्रमाणावर घडत आहेत की त्यांचे आकलन करण्यासाठी पृथ्वीवरील प्रयोगशाळांत बनवलेले भौतिक शास्त्राचे नियम समर्थ ठरतील की नाहीं हा प्रश्न मनात आल्या खेरीज राहत नाही तरी अशा नियमांचा कल्पकतेने वापर करून सृष्टीतल्या अनेक मोठ्या कोड्यांची उत्तरे मिळवण्यात खगोल शास्त्रज्ञाने कसे यश मिळवले आहे ते आपण पाहिले. ग्रहांच्या, धूमकेतूंच्या भ्रमण कक्षा ठरवणे, सूर्याला प्रकाशात ठेवणे, आकाशगंगेबाहेरील प्रचंड स्रोतातून रेडिओ लहरी येणे, आणि अब्जावधि प्रकाशवर्षे लांब पर्यंत पसरलेल्या विश्वाचे प्रसरण होत जाणे, हे सर्व भौतिक शास्त्रातील नियमानुसार होत आहे हे खगोल शास्त्रज्ञाने दाखवून दिले आहे. अशा तऱ्हेने खगोल शास्त्राचा फायदा भौतिक शास्त्राला पण होत असतो हे येथे नमूद करणे

आवश्यक आहे; भौतिक शास्त्राचे नियम विश्वाच्या अतिप्रचंड प्रयोग शाळेत पडताळून पाहण्याचे काम खगोल शास्त्रज्ञ करत असतो.

शास्त्रीय दृष्टिकोन वापरायचा ठरवला की कुठल्याही प्रश्नाचे उत्तर लगेच मिळत नाहीं. वर उदाहरणादाखल सांगितलेल्या प्रत्येक बाबीची कारणमीमांसा करायला अनेक वर्षांचे वेध, कारणमीमांसांचे चिकित्सक दृष्टीनें परीक्षण कधी कधी प्रस्थापित मतांना तिलांजली देणे इत्यादी प्रकार घडले आहेत. आणि आजही 'कोडे सुटले' असे वाटत असले तरी पुन्हा नवीन कूट प्रश्न निर्माण होण्याची शक्यता नाकारता येत नाही.

कुठल्याही वैज्ञानिक विषयात सर्व कोडी सुटली असा काळ कधीही येत नाहीं. खगोल-शास्त्रही त्याला अपवाद नाहीं. आजही अनेक न सुटलेले प्रश्न खगोल शास्त्रज्ञांसमोर आहेत. काहींची चर्चा मागील चार प्रकरणात आली आहे. ह्या शेवटच्या प्रकरणात काही महत्त्वाचे कूट प्रश्न मांडतो.

1. सूर्यमालेची उत्पत्ती

जरी ढोबळ मानानें सूर्यमाला कशी तयार झाली हे थोडे फार माहीत असले तरी अजून तिचा सर्व तपशील माहीत झाला नाहीं. अलिकडे सोडलेली अंतराळ याने ग्रहाजवळून जाऊन किंवा प्रत्यक्ष ग्रहांवर उतरून जी महत्वाची माहिती पाठवीत आहेत तिची छाननी झाल्यावर आपल्या सूर्यमालेच्या निर्मिती व रासायनिक रचनेबद्दल अधिक तपशीलवार कारणमीमांसा करणे शक्य होईल.

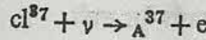
धूमकेतूंबद्दल देखील अधिक माहिती अंतराळ यानांकडून मिळेल अशी अपेक्षा आहे. उदाहरणार्थ हॅलेचा धूमकेतू 1985–86 च्या काळात सूर्याजवळ येणार आहे. त्याचे जवळून अवलोकन करायला अंतराळ शोधक (Space-probe) पाठवायच्या योजना आत्ताच आखल्या जात आहेत. धूमकेतू हे सूर्य मालेच्या अगदी लांबच्या टोकांकडून येत असल्याने त्यांच्या रासायनिक घडवणुकीचा अभ्यास वरील प्रश्नाला पुष्कळ लाभदायक ठरणार आहे.

2. सूर्यातले न्यूट्रीनो

प्रकरण –5 मध्ये सूर्य का प्रकाशतो ह्या प्रश्नाचे उत्तर त्याच्या अंतरंगात घडणाऱ्या अणु-गर्भीय प्रक्रियांत आहे असे आपण पाहिले. त्यांत हायड्रोजनचे हीलियम मध्ये रुपांतर होताना ज्या प्रमाणे उर्जा बाहेर पडते त्याच प्रमाणे न्यूट्रीनो हे मूलकण पण बाहेर पडतात. आणि हे मूलकण इतर पदार्थांशी मंद क्रियेनेच व्यवहार करत असल्यानें त्यांना शोषून घेण्याची ताकत सूर्यात नाहीं. हे मूलकण सूर्याच्या अतितप्त केंद्रस्यानातून थेट बाहेर येऊ शकतात. असे मूल-

कण काही प्रमाणात पृथ्वीच्या दिशेने येतात. जर त्यांचीं मोजमाप करणे शक्य असले तर ते आपल्याला सूर्याच्या केंद्रभागाचीं माहिती पुरवतील आणि सूर्याच्या अंतरंगात घडणाऱ्या प्रक्रियांबद्दल प्रत्यक्ष पुरावा देतील ही तज्ञांची अपेक्षा आहे.

परंतु न्यूट्रीनो पकडणे सोपे नसल्याने हीं मोजमाप कशीं होणार ? सुदैवाने न्यूट्रीनो शोषणारी एक प्रक्रिया 1960–70 च्या दशकाच्या आरंभी शास्त्रज्ञांना गवसली ती थोडक्यात अशी :



$$cl^{37} + \nu \rightarrow A^{37} + e$$

यांत क्लोरीनचा 37 अणुभाराचा अणुगर्भ न्यूट्रीनो शोषून त्याचे आरगॉन च्या अणुगर्भात रूपांतर होते.

ह्या प्रक्रियेवर आधारलेला एक प्रयोग अमेरिकेत होमस्टेक (Homestake) खाणीत ब्रुकहेवन प्रयोग शाळेच्या डेव्हिस नावाच्या शास्त्रज्ञ (Davis) गेली 10 वर्षे करत आला आहे. सूर्यात घडणाऱ्या H→He प्रक्रियेचे अनेक पर्यायी मार्ग आहेत. त्यापैकी एकात बोरॉनचा अणुगर्भ तात्पुरता तयार होऊन त्याचे विघटन होते आणि न्यूट्रीनो बाहेर पडतो. हे न्यूट्रीनो अधिक उर्जेचे असल्याने त्यांचे शोषण करण्याची, मोजमाप करण्याची क्षमता डेव्हिस च्या उपकरणात आहे. परंतु आजपर्यंत डव्हिसला सूर्यापासून मिळालेले न्यूट्रीनो अपेक्षेपेक्षा तीन चार पटीने कमी आहेत. असे का व्हावे हे अद्याप न सुटलेले कोडे आहे.

हे सोडवण्याकरता वेगवेगळे उपाय सुचवण्यात आलेत, त्यापैकी काहीं असे आहेत. (i) डेव्हिसच्या प्रयोगात दोष असेल (ii) सूर्यात घडणाऱ्या H → He प्रक्रिया वेगळ्या मार्गाने घडत असतील किंवा बोरॉनच्या मार्गाने अपेक्षेपेक्षा कमी प्रमाणात घडत असतील (iii) सूर्यात तात्पुरती ही प्रक्रियाच बंद असेल आणि सूर्य काहीं काळ कमी तपमानाच्या परिस्थितीतून जात असेल (iv) न्यूट्रीनोचे सूर्यापासून पृथ्वीपर्यंत येईपर्यंत विघटन होत असेल ..... इत्यादी इत्यादी !

परंतु कुठलाच पर्याय कोडे सोडवण्यास समाधानकारक ठरला नाहीं. जोपर्यंत हे कोडे सुटत नाहीं तोपर्यंत सूर्य तेजाचे रहस्य पूर्णपणे उकलले गेले नाहीं असे म्हणावे लागते.

3. तारकाविश्वांची निर्मिती

तारकाविश्वे कशी निर्माण झाली हे कोडे अद्याप सुटले नाहीं. जर महास्फोटाची कल्पना बरोबर असेल तर तारकाविश्वांची निर्मिती स्फोटावशेषांतून व्हायला पाहिजे. परंतु स्फोटानंतरच्या फार तर एक दोन अब्ज वर्षांच्या आत हे घडणे आवश्यक आहे, नाहींतर विश्वाच्या वयोमानात तारकाविश्वांची वये बसवणे फार कठीण होईल.

महास्फोटात प्रसरणाचा वेग कमी होत जातो हे आपण पाहिले. म्हणज तो पूर्वी सध्यापेक्षा जास्त होता. प्रसरण पावणाऱ्या विश्वात काही वायुभागांचे आकुंचन होऊन तारकाविश्वे तयार झाली असे म्हटले तर मुख्य अडचण अशी येते. मूळ विश्वातील घटकच जर एकमेकापासून दूर जात असेल तर त्यांच्यातल्या काही भागांचे आकुंचन होणार कसे ?

हा प्रश्न अद्याप समाधानकारकरीत्या सुटलेला नाहीं. त्याच प्रमाणे तारकाविश्वांत वयाप्रमाणे बदल होतो का ? हा बदल तारकाविश्वांचे वेगवेगळे प्रकार कसे तयार होतात हे सांगू शकेल का ? क्वेसार, रेडिओ स्रोत इत्यादींचा ह्या बदलात कुठे समावेश होतो का ? थोडक्यात म्हणजे ज्या प्रकारचे प्रश्न ताऱ्यांबद्दल खगोलशास्त्रज्ञांपुढे होते तेच प्रश्न तारकाविश्वांबद्दल आहेत. ताऱ्यांबद्दलच्या प्रश्नांची उत्तरे मिळवण्यात जे यश लाभले आहे ते नजीकच्या काळात तारकाविश्वांचे प्रश्न सोडवण्यात मिळेल अशी आशा आहे.

4. QSO ची ताम्रसृती

प्रकरण- 5मध्ये QSO संबंधी चर्चा करताना त्यांची ताम्रसृती कुठल्या कारणामुळे आहे हा प्रश्न वादग्रस्त असल्याची नोंद केली होती. बहुसंख्य खगोलशास्त्रज्ञांच्या मते ही ताम्रसृती विश्वाच्या प्रसरणामुळे येते. परंतु अलिकडे आर्प (Arp) नावाच्या खगोल शास्त्रज्ञाने अशा काही गोष्टी नजरेस आणल्या आहेत की ज्यामुळे ह्याबाबत शंका निर्माण होते. त्या गोष्टी अशा प्रकारच्या आहेत.

आपण जेव्हां आकाशातले तारे पाहतो तेव्हा जर दोन तारे आपल्याला शेजारी शेजारी दिसले तर ते खरोखर एकमेकाजवळ असतील असे नव्हे. त्यापैकी एक तारा दुसऱ्याच्या मागे, आपल्यापासून अधिक लांब अंतरावर, असण्याची शक्यता नाकारता येणार नाहीं. ते शेजारी दिसतात कारण त्यांच्याकडे आपल्या पाहण्याच्या दिशा जवळ जवळ सारख्या आहेत. त्या उलट तारा युगल (Binary Stars) हा असा प्रकार आहे की जेथे दोन तारे खरोखर एकमेकाजवळ असतात.

आर्पने प्रस्तुत केलेली उदाहरणे अशा प्रकारची आहेत. अशा उदाहरणात QSO आणि तारकाविश्व हे शेजारी दिसतात पण QSO ची ताम्रसृती तारकाविश्वाच्या ताम्रसृतीपेक्षा पुष्कळ जास्त असते. जर दोन्ही वस्तूंच्या ताम्रसृत्या विश्वाच्या प्रसरणामुळे असल्या (आणि तारका विश्वाबाबतीत हे मान्य करायला हरकत नाहीं) तर हबलच्या नियमाप्रमाणे QSO हा तारका विश्वाच्या मानाने आपल्यापासून पुष्कळ लांब आहे. मग वर सांगितलेल्या ताऱ्यांच्या उदाहरणाप्रमाणे आपल्याला असे म्हणावे लागेल की योगायोगाने QSO आणि तारकाविश्वांच्या दिशा परस्परांजवळ असल्याने अशी परिस्थिती निर्माण झाली आहे.

ह्यावर आर्पचे असे म्हणणे आहे की योगायोगाने असे घडण्याची संभाव्यता फार कमी

(एक टक्क्याहून कमी) आहे. आणि त्याला आजवर अशा अनेक (QSO- तारका विश्व) जोड्या सापडल्या असल्याने ह्या सर्व जोड्या योगायोगाने घडण्याची संभाव्यता आणखीनच कमी होते. आणि संख्या शास्त्राच्या निकषाप्रमाणे जर एखाद्या गृहीतकावर आधारलेल्या कारणमीमांसेची संभाव्यता फार कमी असेल तर त्या गृहीतकाबद्दल शंका घेणे रास्त असते.

म्हणून आर्प आपल्या निरीक्षणावरून 'QSO ची ताम्रसृती हबल नियमानुसार आहे' या गृहीतकाबद्दल शंका घेतो. त्याच्या मते QSO आणि तारकाविश्व हे खरोखर एकमेकाजवळ आहेत आणि त्यामुळे QSO ची ताम्रसृती केवळ विश्व प्रसरणामुळे नाहीं. त्यातील काहीं भाग वेगळ्या कारणामुळे असेल. हे 'वेगळे कारण' डॉप्लर जनित किंवा गुरुत्वाकर्षण जनित किंवा अद्याप माहीत नसलेले नवीन प्रकारचे असेल. अशा ताम्रसृतीला 'विसंगत ताम्र-सृती' (Anomalous Redshift) असे नाव देण्यात आले आहे.

सध्या आर्पने वापरलेले संख्या शास्त्राचे निकष वादग्रस्त आहेत. काहीं खगोलशास्त्रज्ञांना ते पटतात तर काहींना त्यांत चुका दिसतात. पण विसंगत ताम्रसृती वाल्या QSO ची संख्या वाढत असल्याने आर्पच्या विधानांकडे दुर्लक्ष करून चालणार नाहीं असे आता बहुतेकांना वाटते. पुढील काहीं वर्षांत ह्या वादाचा निकाल लागून QSO ची ताम्रसृती कशामुळे आहे याची माहिती मिळेल अशी आशा आहे.

नमुन्यादाखल वरील चार कूट प्रश्न आजच्या खगोल शास्त्रातील काहीं समस्यांची जाणीव करून देतात. जागेच्या अभावीं अशा अनेक प्रश्नांची चर्चा येथे करता येत नाहीं. परंतु पुढे मागे हे आजचे प्रश्न सुटले तरी प्रश्न मालिका संपणार नाहीं हे निश्चित. उलट एखाद्या विषयात न सुटलेल्या प्रश्नांची यादी असणे हे विज्ञानाच्या दृष्टीने चांगले लक्षण समजावे. कारण त्याचा अर्थ त्या विषयात पुढे अनेक मार्गांनी प्रगती होणार; व त्याची ही कूटप्रश्नांची यादी ग्वाहीच देते. म्हणून खगोल शास्त्रज्ञाने आपला विषय भरभराटीच्या मार्गावर आहे असे समजावे.

आता खगोलशास्त्रज्ञाला विचारण्यात येणाऱ्या एका वेगळ्याच प्रश्नाची थोडक्यात चर्चा करून ह्या विषयाचा समारोप करतो. हा प्रश्न सामान्य माणसाला बरेच वेळा पडतो - विशेष करून जव्हा त्याला आपल्या भोवती पसरलेल्या अफाट अंतराळाची जाणीव होते. तो प्रश्न असा आहे.

5. पृथ्वीपलिकडे जीवसृष्टी असेल का?

वीस वर्षांपूर्वी 'हा प्रश्न खगोलशास्त्रात बसत नाही' असे म्हणून प्रश्नकर्त्याला गप्प करण्यात आले असते. फार काय हा प्रश्न विज्ञानात बसत नसून विज्ञान कथांचा हा विषय आहे असे बहुसंख्य वैज्ञानिकांना दोन दशका पूर्वी पर्यंत वाटत होते. परंतु आज ह्या प्रश्नात रस घेणारे

अनेक वैज्ञानिक आहेत. आणि हा विषय फक्त खगोल शास्त्रज्ञांपर्यंतच मर्यादित नसून त्यांतील अनेक बाबींचा विचार करण्यासाठी जीवशास्त्रज्ञ, गणकयंत्रज्ञ, इलेक्ट्रॉनिक्स तंत्रज्ञ इत्यादींची पण आवश्यकता लागते. पण ह्या प्रश्नात शास्त्रज्ञांनी रस घेण्याकरता ज्या घटना घडल्या त्यांत खगोल शास्त्राचा महत्वाचा वाटा आहे.

1959 मध्ये फ्रँक ड्रेक (Frank Drake) आणि कोकोनी (Cocconi) व मॉरिसन (Morrison) या शास्त्रज्ञांनी पृथ्वी पलिकडे अतिप्रगत जीवसृष्टी असल्यास तिच्याशी संधान बांधायला आपल्या रेडिओ दुर्बीणींचा उपयोग करावा अशी सूचना केली. 21 से. मी. ची हायड्रोजनची लहर लांबी (पहा प्रकरण 6) या करता वापरावी असा त्यांचा दावा होता. लांबून येणाऱ्या संदेशांकरता ही लहरलांबी सर्वात योग्य आहे हे त्यांनी तांत्रिक कारणांनी दाखवले. आपल्या रेडिओ दुर्बिणींच्या नेहमीच्या वेधांतला काही भाग SETI (Search for Extra Terrestrial Intelligence) म्हणजे पृथ्वी पलिकडील बुद्धिमत्तेचा शोध लावण्यासाठी राखून ठेवावा अशी त्यांची शिफारस होती.

त्यानंतरच्या 10 वर्षांतच रेडिओ आणि मायक्रोवेव्ह वेधांद्वारे खगोल शास्त्रज्ञांना ताऱ्यांदरम्यानच्या अंतराळात अनेक कार्बनिक रेणू (Organic Molecules) सापडले. प्रकरण –6 मध्ये याचा उल्लेख केला होता. पृथ्वीवरील जीवसृष्टीच्या मुळाशी असलेल्या DNA रेणूतले घटक-स्वरूप समजले जाणारे काही रेणू पण त्यांत होते. त्यामुळे साहजिकच शास्त्रज्ञांना पृथ्वी बाहेर जीवसृष्टी असण्याच्या शक्यतेकडे अधिक बारकाईने पाहण्याची आवश्यकता वाटली.

अर्थात पृथ्वी बाहेरची जीवसृष्टी पृथ्वीवरील जीवसृष्टी सारखीच असावी हे आवश्यक नाहीं. फार काय 'बुद्धिमत्ता' ही कार्बनिक शरीरात (किंवा आणखी कसल्या तरी रेणूंच्या शरीरात) राहत असावी असेही मानण्याची आवश्यकता नाहीं. परंतु जर आपण असे गृहित धरले की एखादी अतिप्रगत जीवसृष्टी एखाद्या ताऱ्या भोवती एखाद्या ग्रहावर निवास करत असेल तर अशा जीवसृष्टी आपल्या आकाश गंगेत किती असतील ? ह्या प्रश्नाचे उत्तर ठरवण्यासाठी ड्रेकनें एक समीकरण मांडले त्यांत ही संख्या म्हणजे अनेक गुणकांपासून बनलेली असते. ते गुणक अशा प्रकारचे आहेत. आकाश गंगेत ताऱ्यांची निर्मिती दर वर्षी किती होते? त्यापैकी किती तारे जीवसृष्टीला पोषक स्वरूपाचे आहेत ? त्यापैकी किती ताऱ्यांना ग्रहमाला असेल ? अशा ग्रहमालेत किती ग्रह जीवसृष्टीला योग्य असतील ? आणि अशा योग्य ग्रहात जीवसृष्टी सृजनाची संभाव्यता काय ? आणि जीवसृष्टीचे सृजन झाले तर तिच्यात अतिप्रगत परिस्थितीपर्यंत बुद्धिमत्ता तयार होण्याची संभाव्यता काय ? आणि सर्वात शेवटी अतिप्रगत संस्कृतीचा एकंदर जीवन काळ किती असेल ?

यापैकी पहिल्या तीन प्रश्नांची उत्तरे खगोलशास्त्रात बसतात आणि त्यांची उत्तरे (थोड्या प्रमाणात तरी!) आपल्याला माहीत आहेत असे म्हणता येईल. परंतु बाकीच्या प्रश्नांची

उत्तरे सध्या तरी अटकळींवर आधारलेली असतात. त्यावरून असे सांगण्यात येते की आपल्या आकाशगंगेत अतिप्रगत जीवसृष्टींची संख्या दहा लाख ते कोटीच्या दरम्यान असेल !

हा आकडा मोठा वाटला तरी आकाशगंगेतील एकंदर ताऱ्यांच्या संख्येच्या मानाने (–ही संख्या दहा हजार कोटी आहे!) कमीच आहे. याचे कारण सर्वच तारे जीवसृष्टीला योग्य असणार नाहीत आणि वर सांगितल्याप्रमाणे प्रत्यक्ष कुठेही जीवसृष्टीचा विकास होणे हे फार संभाव्य नसेल, असे गृहीत धरले आहे. म्हणून वरील उत्तर 'इतके कमी' येते !

जीवसृष्टी किती प्रगत आहे याचे दोन निकष म्हणजे अशा संस्कृतीत उर्जेचा वापर किती होतो आणि तिच्यात माहितीचा साठा केवढा मोठा आहे ह्या दोनही निकषावर पृथ्वीवरील मानवी संस्कृती फारशी प्रगत मानता येणार नाहीं. ताऱ्यां-ताऱ्यां-दरम्यान संदेशांचे दळण-वळण करणाऱ्या आपल्यापेक्षा पुष्कळ प्रगत संस्कृती आकाशगंगेत असणे अशक्य नाहीं असे शास्त्रज्ञांना वाटते. *

अशा संस्कृतीशी संधान बांधायला SETI हाच प्रकार सर्वात योग्य आणि आपल्या आजच्या तंत्रशास्त्राच्या अवाक्यातला आहे. प्रत्यक्ष अंतराळ याने पाठवणे (किंवा 'परकीयां'कडून यानांची इकडे येण्याची अपेक्षा करणे) अंतराळातली मोठाली अंतरे पाहता व्यवहाराला अनुसरून होणार नाही. आपल्या सर्वात जवळचा ताराच 4.3 प्रकाशवर्ष लांब आहे. तेथे जाऊन यायला प्रकाशालाच जिथे 8.6 वर्षे लागतात तिथे त्यांहून सहस्रांशापेक्षाही कमी वेगाने जाणाऱ्या अंतराळ यानांना किती वेळ लागेल याची कल्पना करावी. म्हणून मोठाले रेडिओ टेलिस्कोप बांधून परकीयांनी एकमेकांकडे पाठवलेले संदेश ग्रहण करावेत आणि त्यावरून अशा संस्कृती आहेत हे सिद्ध करावे. चित्र क्रमांक -104 मध्ये दाखवलेला सायक्लॉप्स (Cyclops) हा अशा प्रकारचा एक प्रकल्प आहे.

समारोप

अशाप्रकारे आधुनिक खगोलशास्त्र आणि विश्व रचनाशास्त्र ह्या विषयांचा हा संक्षिप्त आढावा आवरता घेत आहे. ज्याप्रमाणे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान यातील गेल्या तीन दशकातील झालेल्या प्रगतीचा फायदा खगोल शास्त्रज्ञाला मिळाला त्याप्रमाणे पुढील प्रगतीचा फायदा भविष्य-काळात मिळत जाणार यांत शंका नाहीं. त्यामुळे जो पर्यंत खगोलशास्त्र विज्ञानाची कास धरून पुढे वाटचाल करत जाईल तो पर्यंत त्यांत लक्षणीय प्रगती होणार हे निश्चित.

खगोलशास्त्रापुढील कूट प्रश्न बरेच आहेत पण ते सुटण्याची आशा विज्ञानातच आहे, अंधश्रद्धेत नाहीं. वास्तविक इथे बसल्या बसल्या लांबच्या ताऱ्यांबद्दल आणि त्याहून लांबच्या

* पहा : Cosmic Connection by Carl Sagan

तारकाविश्वांबद्दल अचूक माहिती मिळवता येते यांतच विज्ञानाचे महत्त्व दिसून येते. वैज्ञानिक नियम जसे इथे लागू पडतात तसे अब्जावधि प्रकाशवर्ष अंतरावर सुद्धा लागू पडतात. हे पाहिले कीं वैज्ञानिकालाच आश्चर्याने तोंडात बोटे घालावी लागतात. वैज्ञानिक नियम इतके सर्वव्यापी असावेत हे एक अद्भुत म्हटले पाहिजे आणि त्याचा प्रत्यय खगोल शास्त्रज्ञास वेळोवेळीं येतो. खुद्द आल्बर्ट आइन्स्टाइन यानेच असे म्हटले आहे;

'विश्वा बद्दल सर्वात अगम्य गोष्ट हीच की ते गम्य आहे.*'

आधुनिक खगोलशास्त्रज्ञ आणि विश्वरचना शास्त्रज्ञाला ह्या उक्तीचा प्रत्यय येतो याहून जास्त काय सांगायचे ?

*The most incomprehensible thing about the universe is that it is comprehensible.

परिशिष्ट – १

पारिभाषिक शब्दसूचि : इंग्रजी – मराठी

Absolute magnitude	निरपेक्ष प्रत
Absorption Line	शोषण रेषा
Acceleration	त्वरण
Amplifier	वर्धक
Andromeda	देवयानी
Angle	कोन
Angular diameter	कोनीय व्यास
Angular momentum	कोनीय संवेग
Angular speed	कोनीय वेग
Anomalous redshift	विसंगत ताम्रसृती
Apparent magnitude	अभिव्यक्त प्रत
Area	क्षेत्रफळ
Asteroid	न्यूनग्रह
Astrology	फलज्योतिष
Astronomy	खगोलशास्त्र
Atmosphere	वायुमंडळ
Atom	अणु
Atomic nucleus	अणुगर्भ
Atomic reactor	अणुभट्टी
Atomic science	अणुशास्त्र
Atomic weight	अणुभार
Attraction	आकर्षण
Axis	अक्ष
Background	पार्श्वभूमि
Balloon	फुगा
Big bang	महास्फोट
Binary Stars	तारायुगल
Biologist	जीवशास्त्रज्ञ
Blackbody radiation	काळे बंदिस्त प्रारण
Black hole	कृष्णविवर
Blueshift	नीलसृती
Boiling point	उत्कलन बिंदु
Bremmstrahlung	त्वरणजनित प्रारण
Brightness	चमक, तेजस्विता
Bright cloud	तेजोमेघ
Bright nebula	तेजः पुंज
Canis Majoris	बृहल्लुब्धक
Catalogue	तालिका
Centre	केंद्र
Chain	शृंखला
Chemical	रासायनिक
Chromatic aberration	रंगांची विकृती
Circumference	परीघ
Cloud	मेघ
Collapse	अवपात
Comet	धूमकेतु
Cometary cloud	धूमकेतूंचा मेघ

Composition	संयोग
Compound	संयुग
Computer	गणकयंत्र
Concave	अंतर्वक्र
Condensation	संघटण
Cone	शंकु
Conjecture	तर्क
Conservation	अक्षय्यता
Consistency	सुसंगतता
Constant	स्थिरांक
Contact binary	चिकटलेले तारायुगल
Continuous creation	संतत सृजन
Continuum spectrum	संतत वर्णपंक्ती
Contour map	समोच्च नकाशा
Contraction	आकुंचन
Controlled	संयमित
Convection	प्रक्रमण
Core	गाभा
Cosmic epoch	वैश्विक युग
Cosmic rays	विश्व किरणे
Cosmic time	वैश्विक काल
Cosmochemistry	खगोलरसायनशास्त्र
Cosmology	विश्वरचनाशास्त्र
Cosmological principle	विश्वरचना तत्व
Count	गणना
Crest	उच्चतम पातळी
Cycle	चक्र
Cygnus	कर्क
Dark nebula	कृष्णाभ्रिका
Decay	क्षय
Degenerate	अधःपतित
Density	घनता
Diagram	रेखाचित्र
Diameter	व्यास
Dipole	ध्रुवयुगल
Disc	चकती
Discrete	विविक्त
Dust	धूळ
Eccentricity	वक्रतेचा अपूर्णांक
Electricity	विद्युत्शास्त्र
Electric charge	विद्युत्भार
Electric current	विद्युत्प्रवाह
Electromagnetic	विद्युच्चुंबकीय
Element	मूलतत्व
Elementary particle	मूलकण
Ellipse	वक्रगोल
Emission	प्रक्षेपण
Emission lines	चमकदार रेषा
Emitters	प्रक्षेपक
Energy	ऊर्जा
Envelope	अन्वालेप
Equation	समीकरण
Equator	विषुववृत्त
Equilibrium	समतोल
Escape speed	सुटकेचा वेग
Evolving	परिवर्तनशील
Expansion	प्रसरण
Explanation	कारणमीमांसा

Explosion स्फोट

Faintness मंदत्व
Field क्षेत्र
Filter गाळणे
Finite सांत
Focal length केंद्रीय लांबी
Focus केंद्र, नाभि
Force बळ
Fragmentation विभक्तीकरण
Frequency कंपनसंख्या, स्पंदनसंख्या
Fundamental मूलभूत

Galaxy तारकाविश्व
Galactic nucleus तारका विश्वाचे केंद्रस्थान
Gamma ray गामा-किरण
Gas वायू
General व्यापक
General relativity व्यापक सापेक्षतावाद
Geometry भूमिती
Giant Star राक्षस तारा
Globular cluster गोल तारकापुंज
Graviation गुरुत्वाकर्षण
Gravitational collapse गुरुत्वीय अवपात

Homogeneous एकविध
Horse-head nebula अश्वशिर अभ्रिका

Induced प्रेरित
Inertia जडता
Inertial जडत्वनिष्ठ
Infinite अनंत
Inner planet आंतले ग्रह
Instantaneous तत्काल
Instrument उपकरण
Interaction क्रिया
Interstellar ताऱ्यांदरम्यान
Isotropic समदैशिक
Inversely proportional व्यस्त प्रमाणात

Jupiter गुरु

Law नियम
Light प्रकाश
Light year प्रकाशवर्ष
Light second प्रकाश सेकंद
Lines of force बळरेषा
Longitude रेखांश
Luminosity दीप्तिस्रोत
Magnet चुंबक
Magnetic चुंबकीय
Magnetism चुंबकीय शास्त्र
Magnitude (of stars) प्रत
Main Sequence प्रमुख अनुक्रम
Major axis दीर्घ अक्ष
Mars मंगळ
Mass वस्तुमान
Matter पदार्थ

Mature परिपक्व
Medium माध्यम
Mercury बुध
Meteor shower उल्कापात
Microwaves सूक्ष्मतरंग
Milky Way आकाशगंगा
Model प्रतिमान

Nebula अभ्रिका
Negative ऋणात्मक
Non-Euclidean अयुक्लिडीय
Non-evolving अपरिवर्तनशील

Observation वेध
Observer निरीक्षक
Optical identification दृश्य प्रकाशार्शी एक रूपता
Orbit कक्षा
Orbit of motion भ्रमण कक्षा
Organic कार्बनिक
Origin उत्पत्ती
Orion मृग
Oscillation दोलन
Outer planets बाहेरचे ग्रह

Parabola अन्वस्त
Paraboloid of revolution भ्रामित अन्वस्तज
Parallax पराक्षय
Particle कण
Perfect Cosmological Principle परिपूर्ण विश्वरचना-तत्त्व
Period आवृत्तिकाल
Physics भौतिकशास्त्र
Plane समतल
Planet ग्रह
Planetary nebula ग्रहानुवर्ती अभ्रिका
Polarized दिशादेशित
Pole ध्रुव
Positive घनात्मक
Postulate गृहीतक
Power शक्ती
Prediction भाकित
Pressure दाब
Proportional सम प्रमाणात
Proxima Centaurus नरतुरंग
Pulsar स्पंदक
Pulses स्पंदन लहरी

Quantum theory पुंजवाद
Quantity परिमाण

Radiation प्रारण
Radio source रेडिओ स्रोत
Radio waves रेडिओ लहरी
Radius अर्धव्यास
Ratio गुणोत्तर, प्रमाण
Reaction प्रक्रिया
Redshift ताम्रस्मृती
Reflection परावर्तन
Refraction वक्रीकरण, वक्रीभवन

Relativity Theory	सापेक्षतावाद
Repulsion	प्रतिकर्षण
Rotation	परिभ्रमण
Satellite	उपग्रह
Saturn	शनि
Set	सट
Shock wave	प्रघाती तरंग
Singular state	विशिष्ट परिस्थिती
Social scientist	समाजशास्त्रज्ञ
Solar system	सूर्यमाला, सौरमाला
Solar nebula	सूर्याभ्रिका
Solid matter	घनपदार्थ
Solidify	घनीभूत होणे
Source	स्रोत
Space	अवकाश, अंतराळ
Space-probe	अंतराळ झाँथक
Space ship	अंतराळ यान
Special relativity	विवक्षित सापेक्षतावाद
Spectrum	वर्णपंक्ती
Speed	वेग
Sphere	गोल
Spin	परिवलन
Spiral	सर्पिल
Spontaneous	स्वयंस्फूर्त
Square	वर्ग, चौरस
Star	तारा
Star-cluster	तारका पुंज
Static	स्थितीशील
Statistics	संख्याशास्त्र
Steady state	स्थिर स्थिती
Strong	प्रखर, तीव्र
Strong interaction	प्रखर क्रिया, तीव्र क्रिया
Superdense	अतिघन
Supergiant star	महाराक्षसी तारा
Supernova	महास्फोटक तारा
Supermassive black hole	महा कृष्णविवर
Table	सारणी
Tangent	स्पर्शरेषा
Telescope	दुर्बीण
Theory	सिद्धांत
Time	काल
Time-span	कालखंड
Track	मार्गरेषा
Triangle	त्रिकोण
Trigonometry	त्रिकोणमीती
Trough	न्यूनतम पातळी
Unbounded	अमर्याद
Unit	एकक
Universe	विश्व
Vacuum	पोकळी
Variability	परिवर्तनशीलता
Velocity	गती
Venus	शुक्र
Virtual image	काल्पनिक प्रतिबिंब
Visual light	दृश्यप्रकाश
Volume	घनफळ
Wavelength	लहरलांबी

Weak interaction	मंद क्रिया
White dwarf	श्वेतबटु
White hole	श्वेतविवर
World line	विश्वरेषा
X-rays	क्ष - किरणे

परिशिष्ट—२

पारिभाषिक शब्दसूचि : मराठी-इंग्रजी

अणु	Atom
अणुगर्भ	Atomic nucleus
अणुभट्टी	Atomic reactor
अतिघन	Superdense
अधःपतित	Degenerate
अनंत	Infinite
अन्वस्त	Parabola
अन्वस्तज	Paraboloid
अन्वालोप	Envelope
अपरिवर्तनीय	Non-evolving
अभिव्यक्त प्रत	Apparent magnitude
अभ्रिका	Nebula
अमर्याद	Unbounded
अयुक्लिडीय	Non-Euclidean
अर्धव्यास	Radius
अवकाश	Space
अवपात	Collapse
अश्वशिर अभ्रिका	Horsehead Nebula
अक्ष	Axis
अक्षय्यता (पदार्थांची)	Conservation (of matter)
आकर्षण	Attraction
आकाशगंगा	Milky Way
आकुंचन	Contraction
आणविक भार	Atomic weight
आंतले ग्रह	Inner planets
आवृत्तिकाल	Period
उच्चतम पातळी	Crest
उत्कलन बिंदु	Boiling point
उत्पत्ति	Origin
उपकरण	Instrument
उपग्रह	Satellite
उल्कापात	Meteor Shower
ऊर्जा	Energy
ऋणात्मक	Negative
एकक	Unit
एकविध	Homogeneous
अंतराळ	Space
अंतराळ यान	Space-ship
अंतराळ शोधक	Space-probe
अंतर्वक्र	Concave

कण	Particle
कक्षा	Orbit
कर्क	Cygnus
कारणमीमांसा	Explanation
कार्बनिक	Organic
काल	Time
कालखंड	Time-span
काल्पनिक प्रतिबिंब	Virtual image
काळे बंदिस्त प्रारण	Black-body radiation
क्रिया	Interaction
कृष्णाभ्रिका	Dark nebula
कृष्णविवर	Black hole
कोनीय वेग	Angular speed
कोनीय व्यास	Angular diameter
कोनीय संवेग	Angular momentum
कंपन संख्या	Frequency
केंद्र (वर्तुळाचे)	Centre
केंद्र (वक्रगोलाचे, अन्वस्ताचे)	Focus
केंद्रीय लांबी	Focal length
खगोलशास्त्र	Astronomy
खगोल रसायनशास्त्र	Cosmochemistry
गणकयंत्र	Computer
गणना	Count
गती	Velocity
ग्रह	Planet
ग्रहानुवर्ती अभ्रिका	Planetary nebula
गाभा	Core
गामा किरणे	Gamma rays
गाळणे	Filters
गुणोत्तर	Fraction
गुरुत्वाकर्षण	Gravitation
गुरुत्वीय अवपात	Gravitational collapse
गुरू	Jupiter
गृहीतक	Postulate
गोल	Sphere
गोल तारकापुंज	Globular cluster
घनता	Density
घनपदार्थ	Solid matter
घनफळ	Volume
घनीभूत	Solidified
चकती	Disc
चक्र	Cycle
चमक	Brightness
चमकदार रेषा	Emission lines
चिकटलेले तारायुगल	Contact binary
चौरस	Square
चुंबक	Magnet
चुंबकीय	Magnetic
चुंबकीय शास्त्र	Magnetism
जडता	Intertia
जडत्वनिष्ठ	Inertial
जीवशास्त्रज्ञ	Biologist
तत्काल	Instantaneous

तर्क	Conjecture
त्वरण	Acceleration
त्वरणजनित प्रारण	Bremmstrahlung
ताम्रसृती	Redshift
तारकापुंज	Star-cluster
तारकाविश्व	Galaxy
तारकाविश्वांचे केंद्रस्थान	Galactic nucleus
तारा	Star
तारायुगल	Binary stars
ताऱ्यांदरम्यानचा	Interstellar
तालिका	Catalogue
त्रिकोणमीती	Trigonometry
तीव्र	Strong
तीव्र क्रिया	Strong interaction
तेजःपुंज	Bright nebula
तेजोमेघ	Bright cloud
तेजस्विता	Brightness
दाब	Pressure
दिशादेशन	Polarization
दिशादेशित	Polarized
दीप्तिस्रोत	Luminosity
दीर्घ अक्ष	Major axis
दुर्बीण	Telescope
दृश्यप्रकाश	Visual light
दृश्य वस्तूंशी एकरूपता	Optical identification
देवयानी	Andromeda
दोलन	Oscillation
ध्वनिलहरी	Sound waves
ध्रुव	Pole
ध्रुव युगल	Dipole
धूमकेतू	Comet
धूमकेतूंचा मेघ	Cometary cloud
धूळ	Dust
नरतुरंग	Proxima Centaurus
नाभि	Focus
नियम	Law
निरपेक्ष प्रत	Absolute magnitude
निरीक्षक	Observer
निरीक्षण	Observation
नीचतमपातळी	Trough
नीलसृती	Blue shift
न्यूनग्रह	Asteroid
पदार्थ	Matter
परावर्तन	Reflection
पराशय	Parallax
परिपक्व	Mature
परिभ्रमण	Rotation
परिमाण	Quantity
परिवर्तनशील	Evolving, variable
परिवर्तनशीलता	Variability
परिवलन	Spin
परीघ	Circumference
प्रकाश	Light
प्रकाश वर्ष	Light year
प्रकाश सेकंद	Light second

प्रक्रमण	Convection
प्रक्रिया	Reaction
प्रखर	Strong
प्रखर क्रिया	Strong interaction
प्रघाती तरंग	Shock wave
प्रत (ताऱ्यांची)	Magnitude
प्रतिकर्षण	Repulsion
प्रतिमान	Model
प्रमाण	Ratio
प्रमुख अनुक्रम	Main sequence
प्रसरण	Expansion
प्रक्षेपक	Emitter
प्रक्षेपण	Emission
प्रारण	Radiation
पार्श्वभूमि	Background
प्रेरित	Induced
पोकळी	Vacuum
पुंजवाद	Quantum theory
फलज्योतिष	Astrology
फुगा	Balloon
बळ	Force
बळरेषा	Lines of force
बाहेरचे ग्रह	Outer planets
बुध	Mercury
भ्रमण कक्षा	Orbit of motion
भाकित	Prediction
भ्रामित अन्वस्तज	Paraboloid of revolution
भूमिति	Geometry
भौतिकशास्त्र	Physics
महाकृष्णविवर	Supermassive black hole
महाराक्षसी तारा	Supergiant star
महास्फोट	Big bang
महास्फोटक तारा	Supernova
माध्यम	Medium
मार्गरेषा	Track
मूलकण	Elementary particle
मूलतत्व	Element
मूलभूत	Fundamental
मृग	Orion
मेघ	Cloud
मंगळ	Mars
मंद	Weak
मंद क्रिया	Weak interaction
मंदता (प्रारणाची)	Faintness
रासायनिक	Chemical
राक्षस तारे	Giant stars
रेखाचित्र	Diagram
रेखांश	Longitude
रेणू	Molecule
रेडियोलहरी	Radio waves
रेडियोस्त्रोत	Radio sources
रंगांची विकृती	Chromoatic aberration
लहर	Wave
लहरलांबी	Wavelength
वक्रगोल	Ellipse

वक्रत्वाचा अपूर्णांक	Eccentricity
वक्ररेषा	Curve
वक्रीभवन	Refraction
वर्ग	Class, square
वर्धक	Amplifier
वस्तुमान	Mass
वर्णपंक्ती	Spectrum
व्यस्तप्रमाणात	Inversely proportional
वायु	Gas
वायुमंडळ	Atmosphere
व्यापक	General
व्यापक सापेक्षतावाद	General relativity
व्यास	Diameter
विद्युच्चुंबकीय	Electromagnetic
विद्युत्प्रवाह	Electric current
विद्युत्भार	Electric charge
विद्युत्शास्त्र	Electricity (science of)
विभक्तीकरण	Fragmentation
विवक्षित सापेक्षता-वाद	Special relativity
विविक्त	Discrete
विशिष्ट परिस्थिती	Singular state
विश्व	Universe
विश्वकिरणे	Cosmic rays
विश्वरचना तत्व	Cosmological principle
विश्वरचनाशास्त्र	Cosmology
विश्वरेषा	World line
विषुववृत्त	Equator
विसंगत ताम्रसृती	Anomalous redshift
वेग	Speed
वैश्विक काल	Cosmic time
वैश्विक युग	Cosmic epoch
शक्ती	Strength
शनि	Saturn
शुक्र	Venus
श्रृंखला	Chain
श्वेत बटु	White dwarf
श्वेत विवर	White hole
शोषण रेषा	Absorption line
शंकु	Cone
सट	Set
स्पर्शरेषा	Tangent
समतल	Plane
समतोल	Equilibrium
समप्रमाणात	Proportional to
समदैशिक	Isotropic
समाजशास्त्रज्ञ	Social scientist
समीकरण	Equation
समोच्च नकाशे	Contour maps
सर्पिल	Spiral
स्वयंस्फूर्त	Spontaneous
सापेक्षतावाद	Relativity Theory
सारणी	Table
स्थिर स्थिती	Steady state
स्थिरांक	Constant
स्थितीशील	Static

सिद्धांत	Theory	संतत सृजन	Continuous creation
सुटकेचा वेग	Escape speed		
सुसंगतता	Consistency	संयमित	Controlled
सूत्र	Formula	संयोग	Composition
सूर्याभ्रिका	Solar Nebula	संयुग	Compound
सूर्यमाला	Solar-system	स्पंदक	Pulsar
सूक्ष्मतरंग	Microwaves	स्पंदन लहरी	Pulses
स्फोट	Explosion	स्पंदन संख्या	Frequency
स्रोत	Source	सांत	Finite
सौरमाला	Solar-system		
संघटण	Condensation	क्ष-किरणे	X-rays
संख्याशास्त्र	Statistics	क्षय	Decay
संतत वर्णपंक्ती	Continuum spectrum	क्षेत्र	Field
		क्षत्रफळ	Area

परिशिष्ट–३

गणितातील क्रिया

ह्या पुस्तकात गणिताचा वापर शक्य तितका कमी ठेवला आहे. परंतु भौतिकशास्त्रातले नियम गणितीय सूत्रांशिवाय व्यवस्थित मांडता यत नाहीत. त्यामुळे काही अपरिहार्य ठिकाणी शक्य तितक्या सोप्या तऱ्हेने गणिताचा वापर करण्यात आलेला आहे. ज्यांना गणिताचा फारसा परिचय नाही (किंवा जे शाळेत शिकलेले गणित विसरून गेले आहेत !) अशांनी हे परिशिष्ट पहावे.

1. बीजगणिताची पद्धत : बीजगणितात आकड्यांऐवजी अक्षरे वापरतात. ती पद्धत येथे वापरली आहे. उदाहरणार्थ

$$AB = C \quad (1)$$

ह्या समीकरणाचा अर्थ असा. A साठी कुठलीही संख्या घ्या. B साठी पण कुठलीही संख्या घ्या. ह्या दोन संख्यांचा गुणाकार करा, कारण AB याचा अर्थ $A \times B$. गुणाकाराचे उत्तर म्हणजे C चे मूल्य. जर $A = 4$, $B = 5$ तर $C = 20$. ह्या पद्धतीचा फायदा

असा की समीकरण (1) मध्ये छोटया आणि सुटसुटीत प्रकाराने असंख्य गुणाकार दर्शवता येतात.

2. घात : जर एखाद्या संख्येला त्याच संख्येने गुणले तर तिचा 'वर्ग' होतो आणि त्या वर्गाला परत मूळसंख्येने गुणले तर तिचा घन होतो. उदाहरणार्थ, 2 चा वर्ग 4 आणि घन 8 आहे :

$$2 \times 2 = 4 \quad , \quad 2 \times 2 \times 2 = 8.$$

हे गुणाकार थोडक्यात असे मांडायची पद्धत आहे :

$$2^2 = 4 \quad , \quad 2^3 = 8.$$

ह्यात 2 च्या डोक्यावरील संख्येला 'घात' म्हणतात. 2^N असे म्हटले तर त्याचा अर्थ N वेळा 2 चा गुणाकार करा :

$$N = 4 : 2\times2\times2\times2 (\equiv 2^4) = 16, N = 5 : 2\times2\times2\times2\times2 \ (\equiv 2^5) = 32.$$

पुस्तकात खगोलशास्त्रज्ञाला उपयोगी पडणारी 10 चे घात वापरायची पद्धत अमलांत आणली आहे. कारण त्याने मोठया संख्या कमी जागेत लिहिता येतात :

एक कोटी $\equiv 1,00,00,000 = 10^7$

सहस्त्र अब्ज $\equiv 1,000000000000 = 10^{12}$

सर्व साधारण नियम असा : 10 चा N वा घात असलेली संख्या म्हणजे 1 वर N शून्ये घालून तयार झालेली संख्या.

जरी वरील उदाहरणात घात N हा पूर्णांक आहे तरी गणितज्ञांनी अपूर्णांक घातांची व्याख्या पण केली आहे. ती समजावून घ्यायचा एक सोपा उपाय असा. जर N पूर्णांक असेल तर वर सांगितल्याप्रमाणे

$$a^N = b \tag{2}$$

ह्या विधानाचा अर्थ असा :

$$a \times a \times a \ldots (N \text{ वेळा}) = b. \tag{3}$$

हेच समीकरण आपण वेगळ्या स्वरूपात, अपूर्णांक घात वापरून, लिहू शकतो :

$$a = b^{1/N} \tag{4}$$

ह्या नियमानुसार $2 = 8^{1/3}$, $4 = 16^{1/2}$. $3 = 81^{1/4}$.

जर घात हा दोन पूर्णांक (M, N) यांच्या गुणोत्तर स्वरूपाचा असला तर ही व्याख्या पुढे अशी वाढवण्यात येते :

$$a^{M/N} = \left(a^{1/N}\right)^M$$

म्हणजे प्रथम a चा 1/N वा घात काढून त्या संख्येचा M वा घात काढायचा. उदाहरणार्थ :

$$8^{2/3} = \left(8^{1/3}\right)^2 = 2^2 = 4,$$

$$81^{3/4} = \left(81^{1/4}\right)^3 = 3^3 = 27. \tag{5}$$

अपूर्णांक घात काढायच्या पद्धती अंकगणितात उपलब्ध आहेत. परंतु त्यांच्या चर्चेशी आपल्याला यथे कर्तव्य नाही.

3. **Log** हा शब्द Logarithm ह्या मूळ शब्दाची पहिली तीन अक्षरे घेऊन बनवलेला आहे. एका दृष्टीने Log हा घाताचा उलटा प्रकार समजायचा. जर आपण असा प्रश्न विचारला '2 चा 4 था घात म्हणजे किती ?' तर वर सांगितल्याप्रमाणे उत्तर आहे : 16. पण त्या उलट जर आपण विचारले '16 हा 2 चा कितवा घात आहे ?' तर उत्तर आहे : 4 इथे 4 ला 2 ह्या **Base** वर 16 चा Logarithm म्हणतात; आणि ते थोडक्यात असे लिहितात :

$$4 = \text{Log}_2 16.$$

सर्व सामान्यपणे जर

$$a^N = b \text{ तर } N = \text{Log}_a b \qquad (6)$$

ह्या मूळ व्याख्येवरून पडताळून पहा :

$$2 = \text{Log}_{10} 100 \quad , \quad 7 = \text{Log}_2 128,$$

$$\tfrac{2}{3} = \text{Log}_8 4 \quad , \quad \tfrac{3}{4} = \text{Log}_{81} 27,$$

ह्या पुस्तकातील Logarithm हे 10 'बेस' वर आहेत. अशा परिस्थितीत 10 ही संख्या गाळण्यात आली आहे :

$$2 = \text{Log } 100, \quad 7 = \text{Log } 1{,}0000000, \ldots$$

10 बेसवर कुठल्याही संख्येचा Log काढण्यासाठी सारिणी उपलब्ध असते. ह्या सारिणी वरून आपल्याला 2 आणि 3 चे Log असे मिळतात :

$$\text{Log } 2 = .301 \ldots, \quad \text{Log } 3 = .477 \ldots$$

(वरील उदाहरणात Log 2 व Log 3 हे दशांश चिन्हानंतर तीन जागांपर्यंतच दिले आहेत.)

Log चा एक महत्वाचा गुण असा. जर

$$a \times b = c$$

तर (7)

$$\text{Log } a + \text{Log } b = \text{Log } c. \qquad (8)$$

आता वरील उदाहरणात आपल्याला 6 चा Log काढता येईल, कारण

$$6 = 3\text{x}2 \qquad \text{Log } 6 = \text{Log } 3 + \text{Log } 2 = .477 + .301 = .778.$$

(7) आणि (8) चा वापर करून आपल्याला आणखी एक नियम सापडतो : जर

A, B, आणि C ह्या संख्या भूमितिश्रेणीत असल्या (म्हणजे A, B च्या जितक्या पटीने मोठा तितक्याच पटीने B, C पेक्षा मोठा) तर Log A हा Log B पेक्षा जितका जास्त तितकाच Log B हा Log C पेक्षा जास्त. ह्याच नियमामुळे ताऱ्यांची प्रत ही Log श्रेणी वर मोजली जाते. त्यामुळे जर A, B, C ह्या ताऱ्यांच्या प्रतींत सारखे अंतर असेल – म्हणजे A ची प्रत B च्या प्रती पेक्षा जितकी जास्त तितकी B ची प्रत C च्या प्रती पेक्षा जास्त असेल – तर C हा B पेक्षा जितक्या पटीने तेजस्वी तितक्यापटीने B हा A पेक्षा अधिक तेजस्वी असा निष्कर्ष निघतो.

संख्या लाखा पासून अब्जापर्यंत गेली तरी तिचा Log हा 5 पासून 9 पर्यंतच जातो. खगोल शास्त्रज्ञाला मोठ्या संख्यांशी कर्तव्य असल्याने त्याला हळू वाढ होणारी Log श्रेणी बरेच वेळा उपयोगी पडते. म्हणून अनेक खगोलशास्त्रीय रेखाचित्रात Log– श्रेणी वापरण्यात येते.

परिशिष्ट – ४

काही भौतिक शास्त्रीय एकक

1. लांबी : आपण व्यवहारात वापरतो तो मीटरचा एकक 100 भागात विभागला की सेंटीमीटर (से. मी.) चा एकक आणि त्या उलट मीटरला 1000 पटीने वाढवले की किलोमीटर (कि. मी.) चा एकक असे लहान मोठे दोन एकक तयार होतात. परंतु खगोल शास्त्रज्ञ वापरतो ते एकक वेगळेच असतात. त्यांची चर्चा पुस्तकात आली आहे. येथे फक्त त्यांची मापे से. मी. च्या एककात दिली आहेत.

अॅस्ट्रोनॉमिकल युनिट (A. U.) = 1.496×10^{13} से. मी.
प्रकाश वर्ष = 9.46×10^{17} से. मी.
पार्सेक (pc) = 3.08×10^{18} से. मी.
किलोपार्सेक (kpc) = 1000 पार्सेक
मेगापार्सेक (Mpc) = 10^6 पार्सेक

2. वस्तुमान : व्यवहारातले एकक किलोग्राम 1000 भागात विभागले की ग्राम हे एकक मिळते. पण खगोल शास्त्रज्ञाला सोयीचे एकक म्हणजे सूर्याचे वस्तुमान $M_\odot$. ते खालील प्रमाणे आहे :

$$M_{\odot} = 2 \times 10^{33} \text{ ग्राम}$$

3. काल : सेकंद हे एकक दैनंदिन व्यवहारातले. पण खगोल शास्त्रज्ञ बरेच वेळा लाखों वर्षांचे गणित मांडतो. त्याकरता ढोबळ मानाने.

$$1 \text{ वर्ष} \cong 3 \times 10^{7} \text{ सेकंद}$$

असे तो मानतो. (खरोखर वर्षात किती सेकंद असतात?)

4. कोन : कोन मोजायला दैनंदिन व्यवहारात डिग्री ($^{\circ}$) वापरतात. काटकोनात 90° असतात. परंतु खगोल शास्त्रात लहान एककांची आवश्यकता पडते:

60 मिनिटे = 1 डिग्री ; 60 सेकंद = 1 मिनिट.

म्हणजे 1 मिनिट (') = 1/60 डिग्री तर 1 सेकंद ('') = 1/3600 डिग्री.

कोन मोजायचे दुसरे एकक म्हणजे 'रेडियन', π रेडियन ($\pi = 3.14159\ldots$) म्हणजे 2 काटकोन = 180°.

5. तपमान : मूलभूत भौतिक शास्त्रात आणि खगोल शास्त्रात केल्विन (Kelvin) ही श्रेणी वापरतात. $1^{\circ}K$ (केल्विन) $= 1^{\circ}C$ (सेल्सियस), पण केल्विन श्रेणीचे शून्य $-273^{\circ}C$ वर असते. म्हणजे, उदाहरणार्थ $5^{\circ}C = 278^{\circ}K$.

6. ऊर्जा : आपण दैनंदिन जीवनात वीजेच्या स्वरुपात ऊर्जा वापरतो आणि बिलांत 'यूनिट' मागे अमुक अमुक पैसे त्या ऊर्जेची किंमत भरतो. ते यूनिट म्हणजे किलो वॅट ह्या दराने तासभर वापरलेली ऊर्जा. उदाहरणार्थ, 100 पॉवरचा (म्हणजे 100 वॅट दराने ऊर्जा वापरणारा) बल्ब 10 तास चालत ठेवला तर एक यूनिट खर्च होते.

भौतिकशास्त्रज्ञ 'अर्ग' (Erg) नावाचे एकक ऊर्जेसाठी वापरतो. सेकंदाला एक कोटी अर्ग इतकी ऊर्जा वापरण्याचा वेग म्हणजे एक वॅट (Watt). त्यावरून वीजेचे यूनिट म्हणजे किती अर्ग ते आपल्याला कळते :

1 यूनिट = तासाभरात (= 3600 सेकंद) किलोवॅट (= 1000 वॅट) वेगाने वापरलेली ऊर्जा

$= 3600 \times 1000 \times 10^{7}$ अर्ग

$= 3.6 \times 10^{13}$ अर्ग

यावरून अर्ग किती लहान हे समजेल. आइन्स्टाइनच्या $E = mc^2$ ह्या सूत्राप्रमाणे 1 ग्राम वस्तुमान खर्च करून मिळणारी ऊर्जा $(3 \times 10^{10})^2$ अर्ग $= 9 \times 10^{20}$ अर्ग म्हणजे जवळ जवळ अडीच कोटी यूनिट इतकी आहे.

अणुशास्त्रज्ञ वापरतो ते ऊर्जेचे एकक इलेक्ट्रॉन व्होल्ट हे मात्र अर्ग पेक्षाही लहान असते.

$$1 \text{ अर्ग} \cong 6.2 \times 10^{11} \text{ इलेक्ट्रॉन व्होल्ट (ev)}.$$

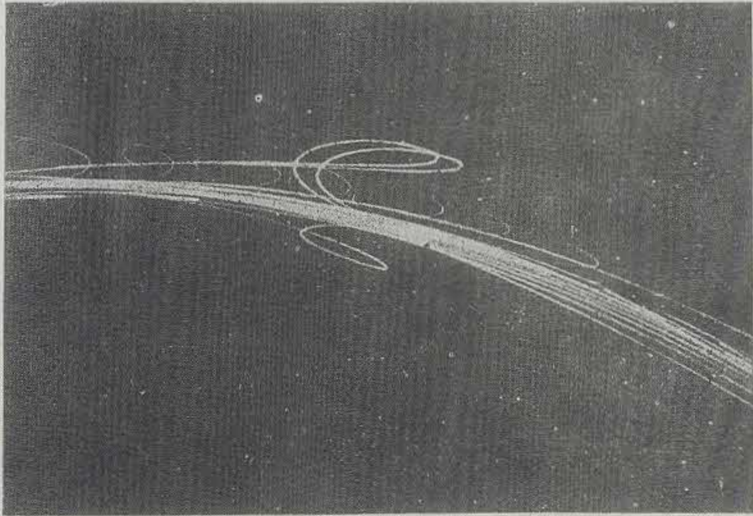
विश्व किरणांतील कणांची ऊर्जा इलेक्ट्रॉन व्होल्ट मध्ये मोजली जाते.

खगोलशास्त्र आणि विश्वरचनाशास्त्रावरील काही पुस्तके

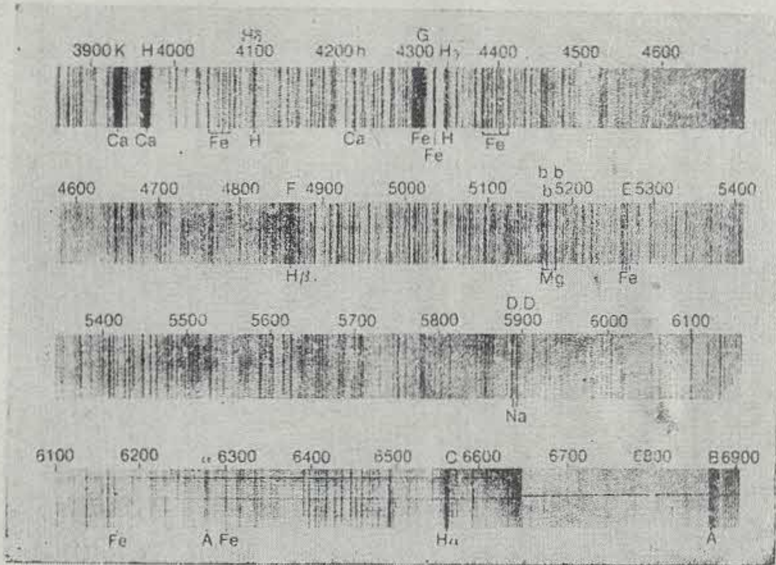
1. Astronomy and Cosmology by F. Hoyle (W.H. Freeman)
2. The Structure of the Universe by J.V. Narlikar (Oxford)
3. Ten Faces of the Universe by F.Hoyle (W.H.Freeman)
4. अंतरीक्ष दर्शन ले. व्यं. ग. गोखले (म. रा. सा. सं. मंडळ)
5. The Nature of the Universe by C. Kilmister (Thames & Hudson)
6. सृष्टिज्ञान आकाशदर्शन अॅटलास ले. गो. रा. परांजपे (म. रा. सा. सं. मंडळ)
7. The physics Astronomy Frontier by F. Hoyle and J. V. Narlikar (W. H. Freeman)
8. कहाणी विश्वरचनेची ले. भा. बा. लाड (नभा प्रकाशन)

निर्देश सूची

विशेषपत्र



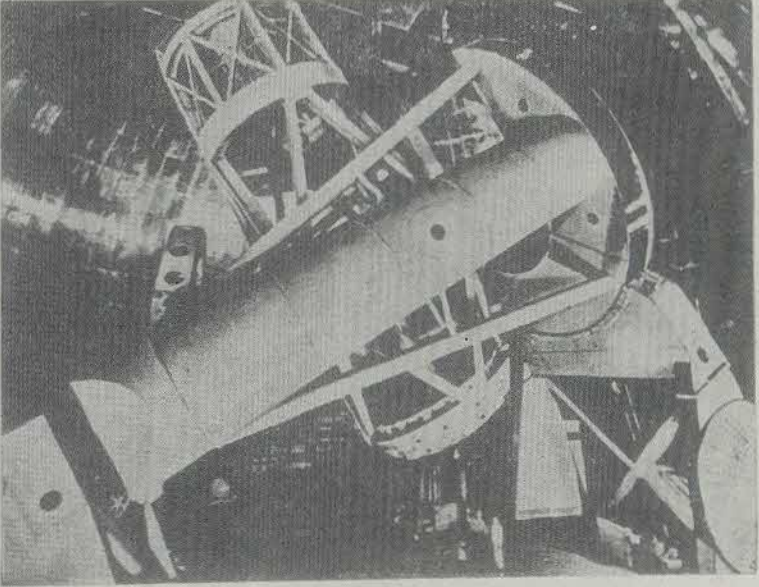
चित्र क्रमांक –1 : म्यूनिख प्लॅनेटेरियम मध्ये ग्रहांच्या गतींची 17 वर्षाच्या कालखंडावर बतावणी करून घेण्यात आलेले छायाचित्र. काही ग्रह 'उलटे' जाताना दिसतात त्यांच्या मार्ग रेषांत फास तयार झालेले दिसतात.
(म्यूनिख प्लॅनेटेरियमच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –19 : सूर्यप्रकाशाची वर्णपंक्ती दाखवली आहे. त्यातील काळ्या शोषण-रेषा (फ्रॉन हॉफरच्या रेषा) स्पष्ट दिसत आहेत. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)

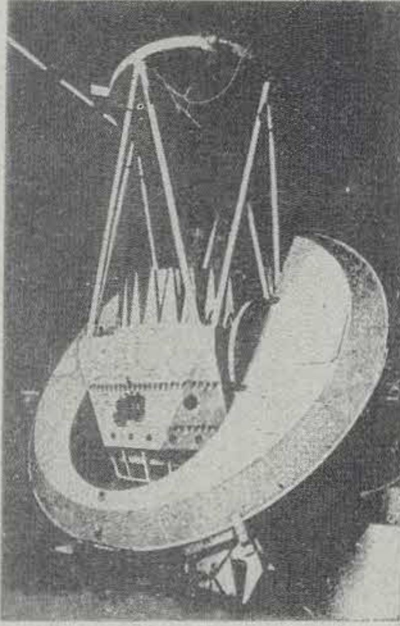


चित्र क्रमांक –20 : सोडियमच्या वाफेची वर्णपंक्ती. तप्त वाफेतील अणूतून निघणाऱ्या दोन चमकदार रेषा वर्णपंक्तीत दिसत आहेत.

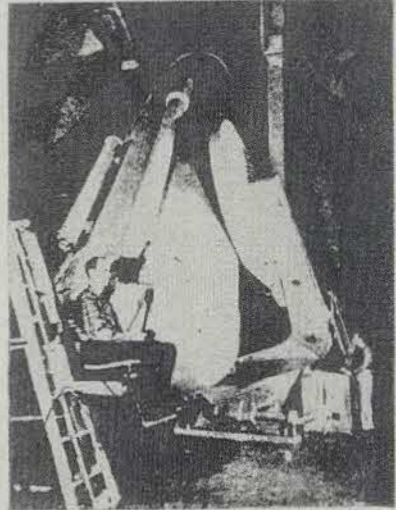


चित्र क्रमांक –35 : माऊंट पॅलमार वरील 200 इंच व्यासाची दुर्बीण. तिच्या आकाराची कल्पना छायाचित्रातील माणसांच्या आकारावरून येते.
(हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)

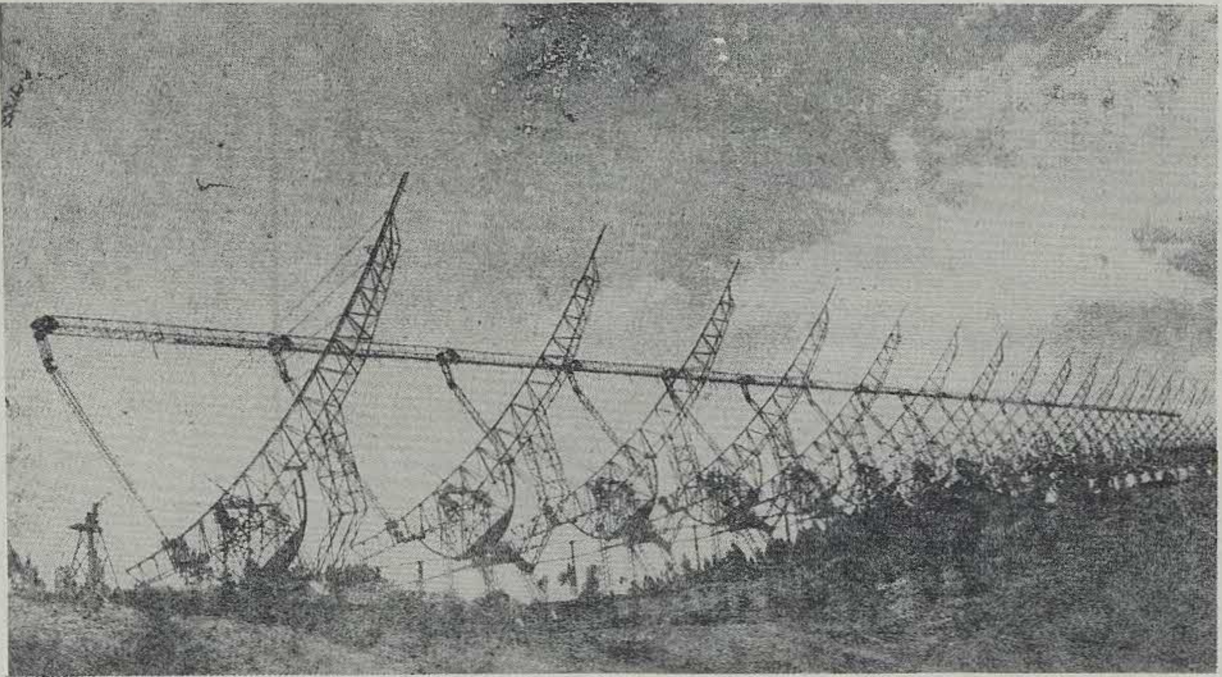
एन ४२६३—१७



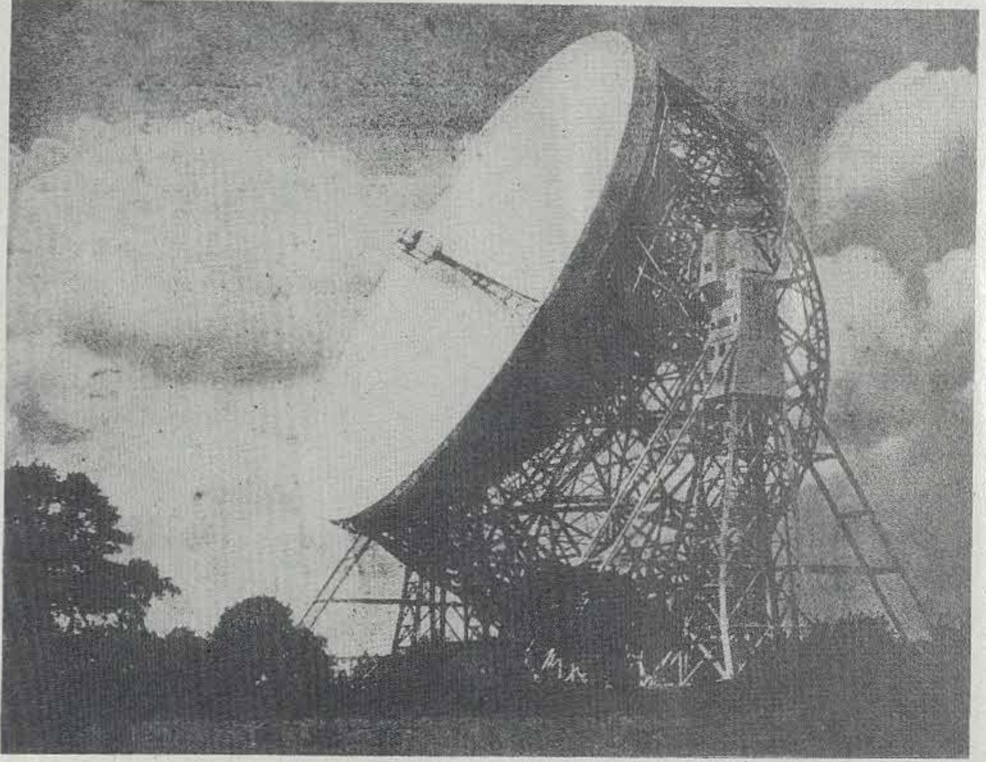
चित्र क्रमांक –37 :
ॲरिझोनामधील किटपीक नॅशनल ऑब्झर्व्हेटरी येथील 4 मीटर व्यासाची दुर्बीण.



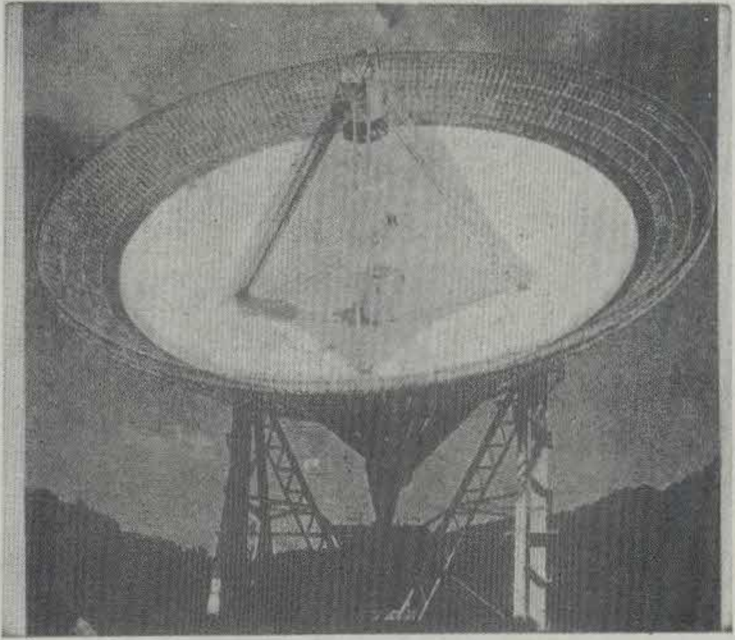
चित्र क्रमांक –38 :
48 इंच व्यासाची शिमड्ट दुर्बीण
(हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



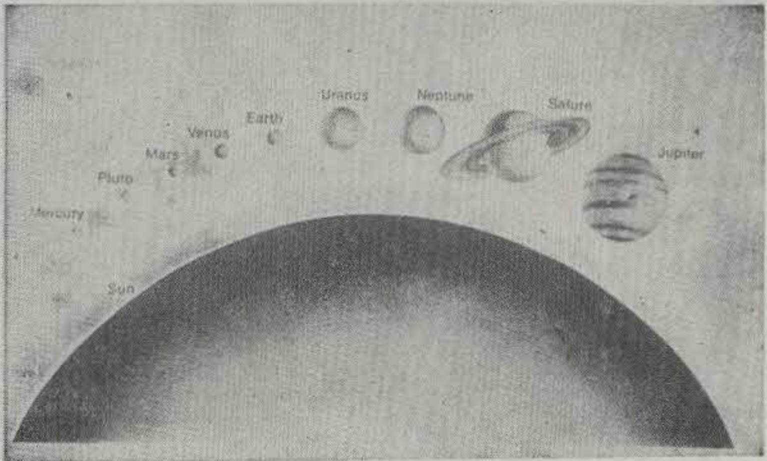
चित्र क्रमांक –40 : उटकमंड येथील टाटा इन्स्टिटयूट ऑफ फंडामेंटल रीसर्च ची रेडिओ दुर्बीण. यातील अण्टेना जवळ जवळ अर्धा किलोमीटर लांब पर्यंत पसरले आहेत. (श्री भरत उपाध्याय यांनी घेतलेले छायाचित्र)



चित्र क्रमांक –41 : जॉड्रल बँक येथील मार्क - I A रेडिओ दुर्बीण. हिचा व्यास सुमारे 250 फूट आहे. (जॉड्रेल बँकेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –42 : बॉन् येथील मॅक्स प्लॅंक इंस्टिटयूट मधील 100 मीटर व्यासाचा रेडिओ टेलिस्कोप (मॅक्स प्लॅंक इंस्टिटयूटच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –45 : सूर्य मालेतील ग्रह सूर्याच्या तुलनेत दाखवले आहेत. (मूळ : फ्रेड हायेल यांच्या *Highlights in Astronomy* प्र. **Freeman 1975**)



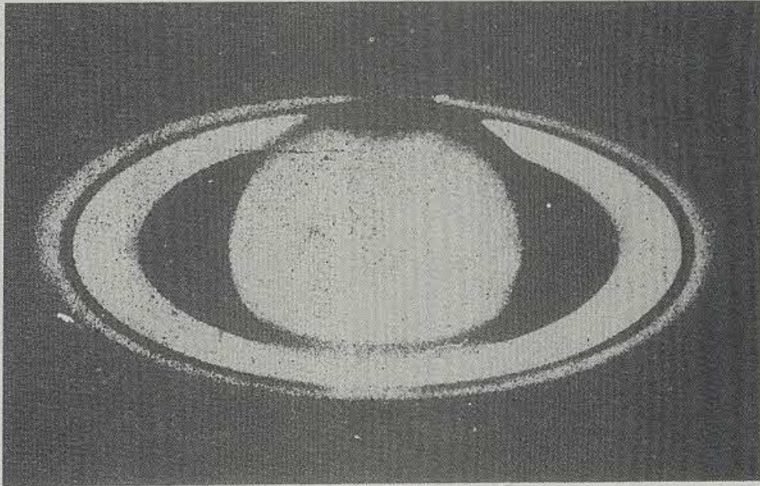
चित्र क्रमांक –46 :
चंद्रावरून पृथ्वी कशी दिसते याची कल्पना अपोलो–8 मिशन मध्ये घेतलेल्या छायाचित्रावरून येते. (NASA च्या सौजन्याने)



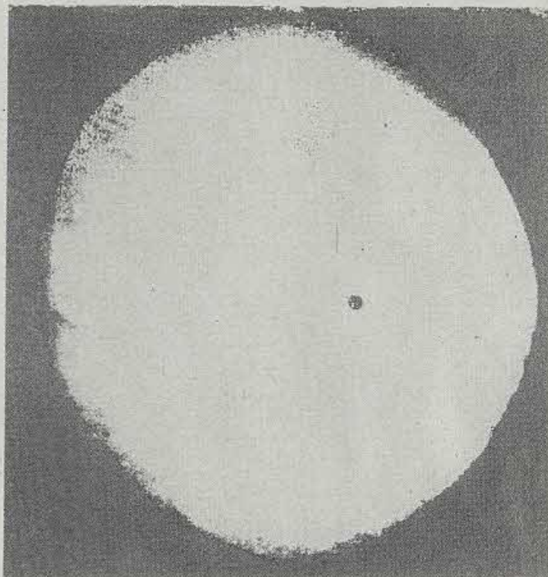
चित्र क्रमांक –47 :
शुक्र ग्रहाचा मॅरिनर 10 मिशनवर 700,000 कि. मी. अंतरावरून अल्ट्राव्हायोलेट टेलिव्हिजन कॅमेऱ्याने घेतलेला फोटो. (NASA च्या सौजन्याने)



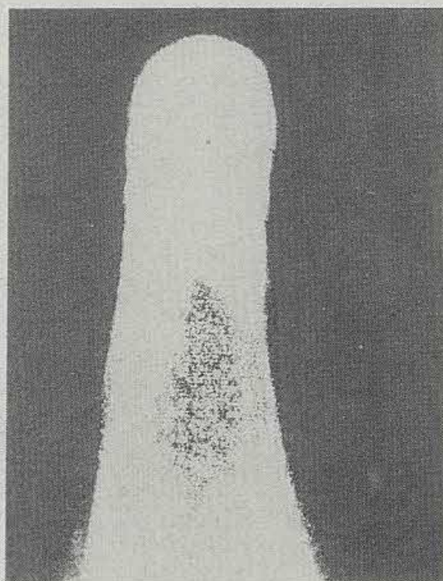
चित्र क्रमांक –48 : मंगळावरील ज्वालामुखी. (NASA च्या सौजन्याने)



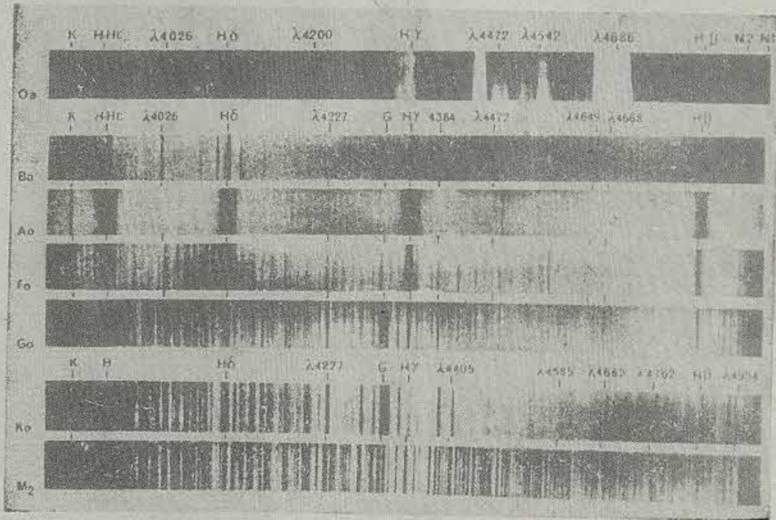
चित्र क्रमांक –49 : शनि ग्रह आणि त्याच्या भोवतालची रिंगणे.



चित्र क्रमांक –50 : गु ग्रह्.



चित्र क्रमांक –52 : हॅलेचा धूमकेतू. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –59 : वेगवेगळ्या प्रकारच्या ताऱ्यांच्या वर्णपंक्ती.
(मूळ : कर्टिस आणि रूफस, मिशिगन विद्यापीठाची वेधशाळा)

एन ४२६३—१८

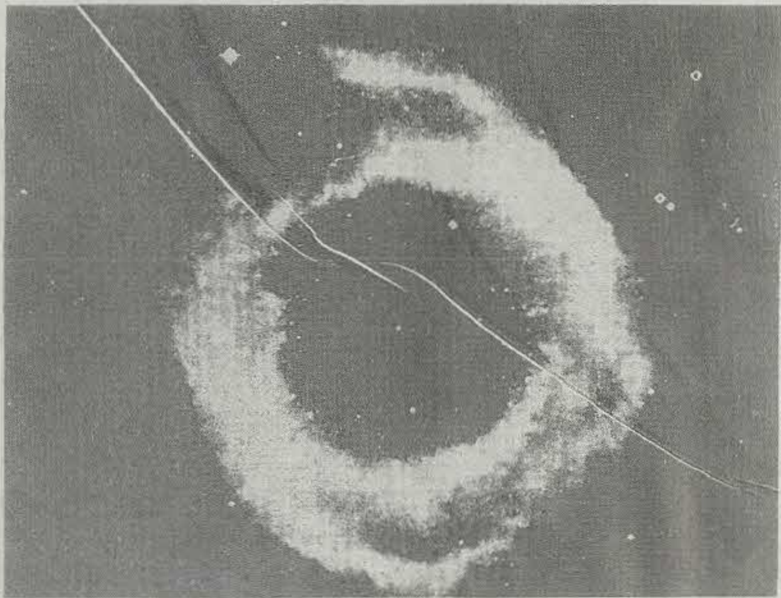


चित्र क्रमांक -62 : ओरायन अभ्रिका. येथे ताऱ्यांचा जन्म होत असावा.
(हेल वेधशाळा आणि कॅलिफोर्निया इन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलजीच्या सौजन्याने)

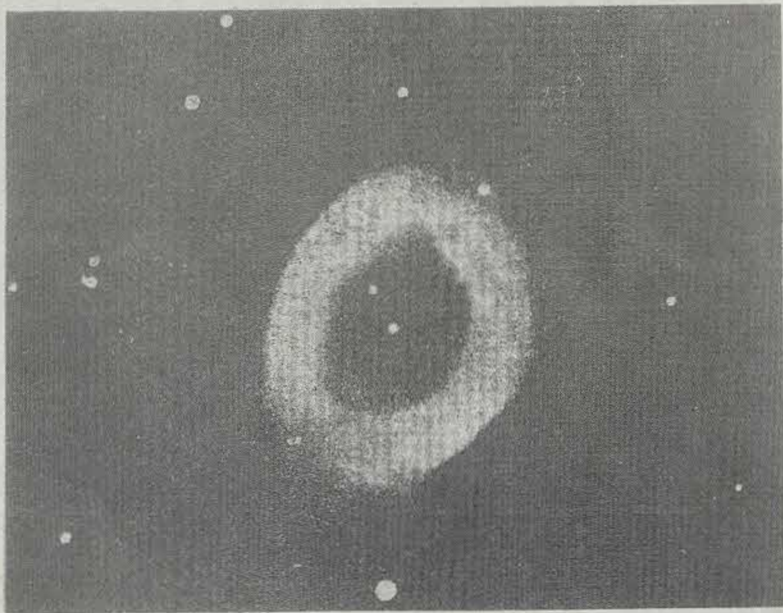


चित्र क्रमांक –67 : क्रॅब अभ्रिका. महा स्फोटक ताऱ्यांचे अवशेष येथे दिसून येतात.
(हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)

एन ४२६३—१८अ

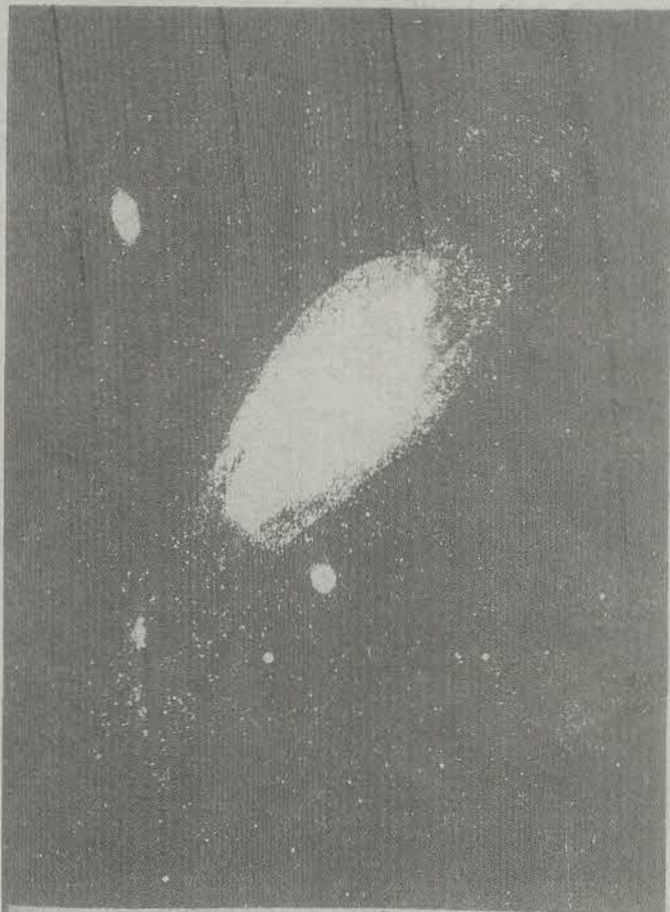


(i)



(ii)

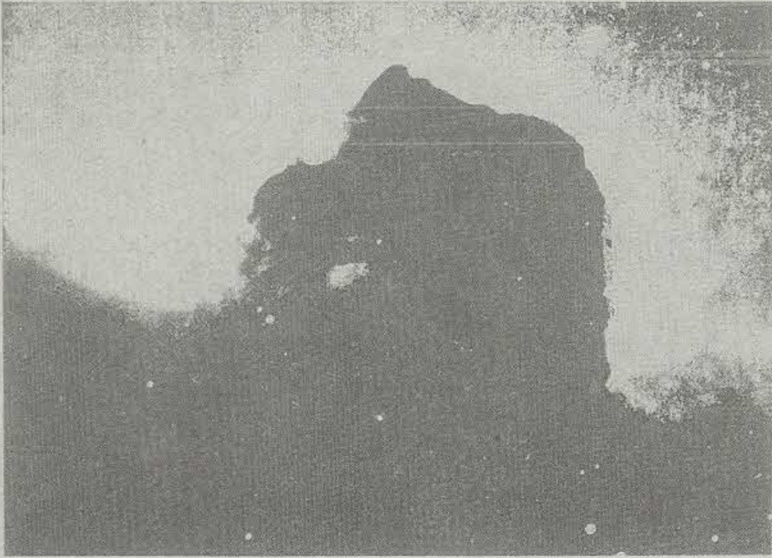
चित्र क्रमांक –68 (i) आणि (ii) मध्ये दोन ग्रहानुवर्ती अभ्रिक NGC 7293 व NGC 6720 दाखवल्या आहेत. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –73 अॅण्ड्रोमिडा (देवयानी) तारका विश्व. (हेल वेधशाळा आणि कॅलिफोर्निया इन्स्टिटयूट ऑफ टेक्नॉलजीच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –74 : धनु (Sagittarius) ते शर्मिष्ठा (Cassiopia) पर्यंत वेगवेगळ्या दिशातील छायाचित्रे जोडून तयार केलेले आकाशगंगेचे चित्र. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



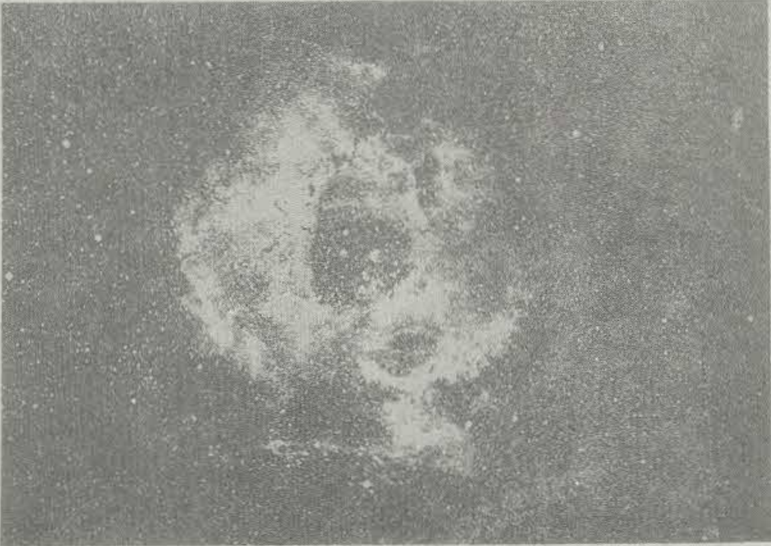
चित्र क्रमांक –75 : अश्वशिर अभ्रिका. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)

चित्र क्रमांक –76 : कॅलशियमच्या H आणि K लाइन्स दाखवणारी वर्णपंक्ती. शोषण रेषांत प्रकाश कमी असतो हे वर्णपंक्तीखालचे रेखाचित्र दर्शवते. (कोडाइकनाल वेधशाळेच्या सौजन्याने)

चित्र क्रमांक –77 : डंब-बेल अभ्रिका. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –78 : लगून अभ्रिका. हिचा व्यास जवळ जवळ 40 प्रकाश वर्षे आहे.
(हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



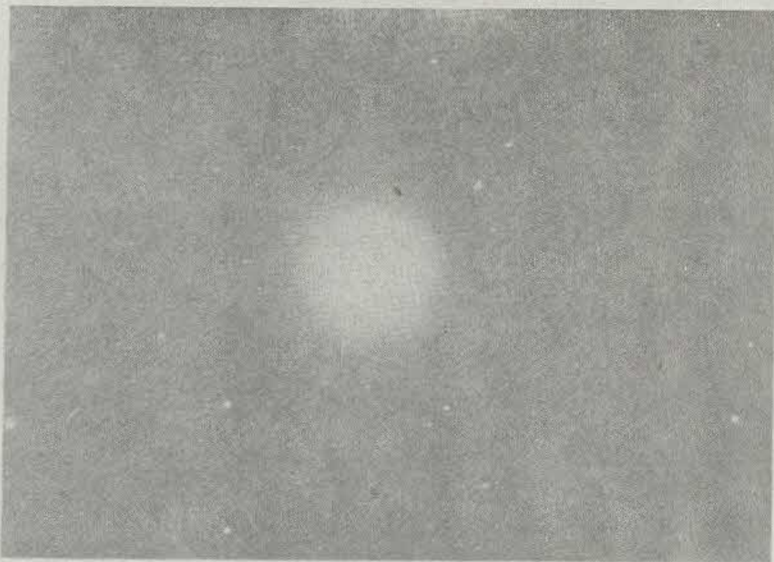
चित्र क्रमांक –79 : रोझेट अभ्रिका. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –80 : ट्रिफिड अभ्रिका. यातील धुळीचे काळे भाग उठून दिसतात. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



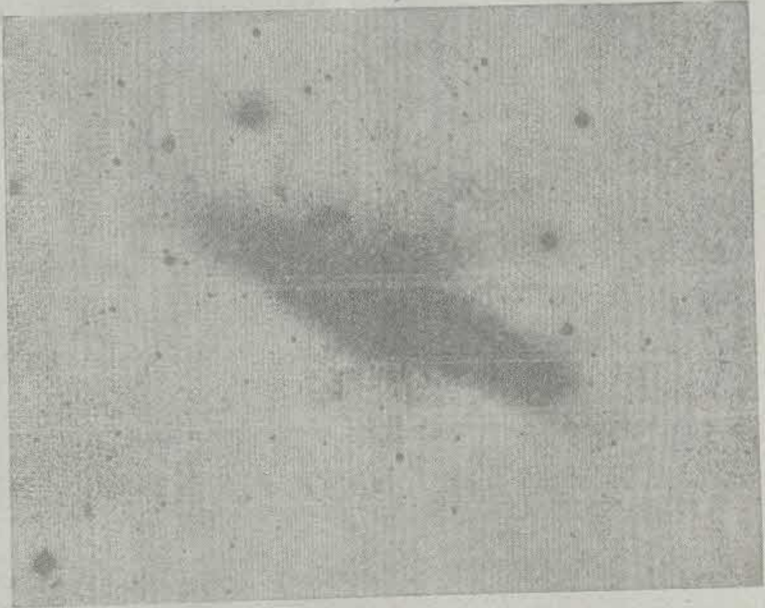
चि. क्र. 82 : सर्पिल तारकाविश्वांचे सहा प्रकार दाखवले आहेत. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



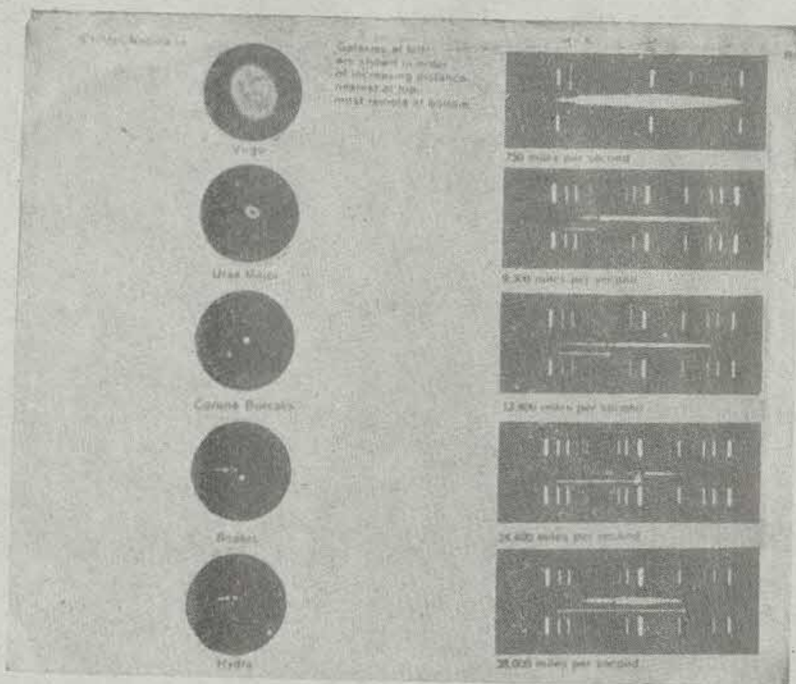
चित्र क्रमांक –83 : NGC 4486 ह्या नावाने ओळखले जाणारे EO प्रकारचे वक्रगोल तारका विश्व. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



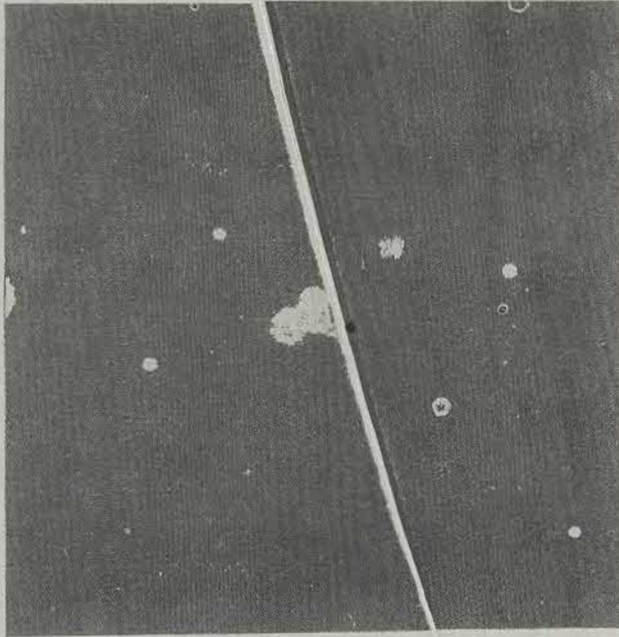
चित्र क्रमांक –84 : सीफर्ट तारकाविश्व NGC 1068. छायाचित्राच्या खालच्या भागात कमी प्रकाश ग्रहण करून तारकाविश्वाचा केंद्रभागच उठून दिसेल अशी योजना केली आहे. (कोडाइकनाल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



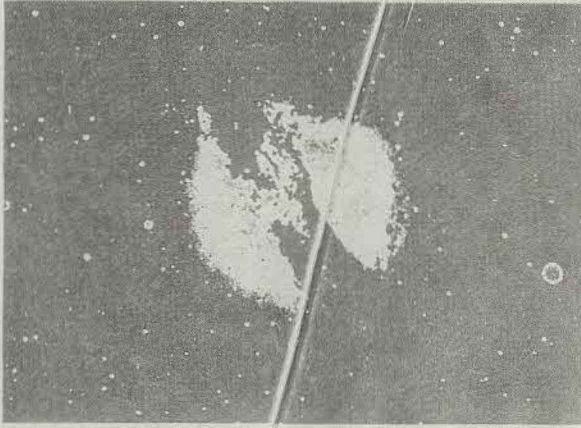
चित्र क्रमांक –85 : M 82 हे एक अनियमित आकाराचे तारकाविश्व. याच्या केंद्रभागी स्फोट झाला असल्याची चिन्हे आहेत. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



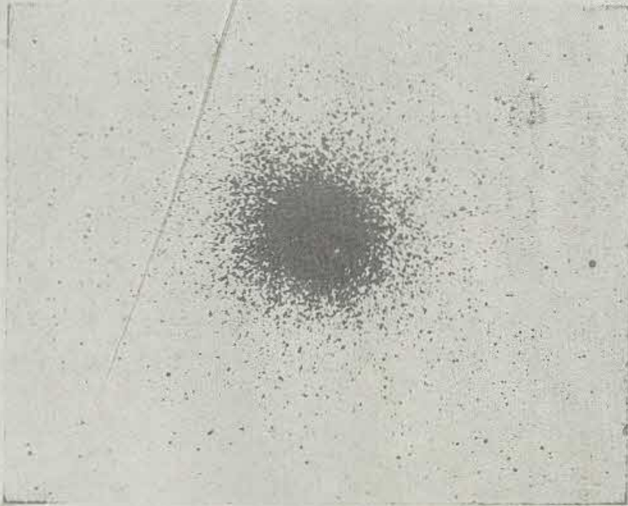
चित्र क्रमांक –87 : हबलची ताम्रसृती दाखवणारे काही तारकाविश्वांचे समूह. ताम्रसृती झालेली वर्णपंक्ती डावीकडील तारकाविश्वांसमोर दाखवली आहे. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



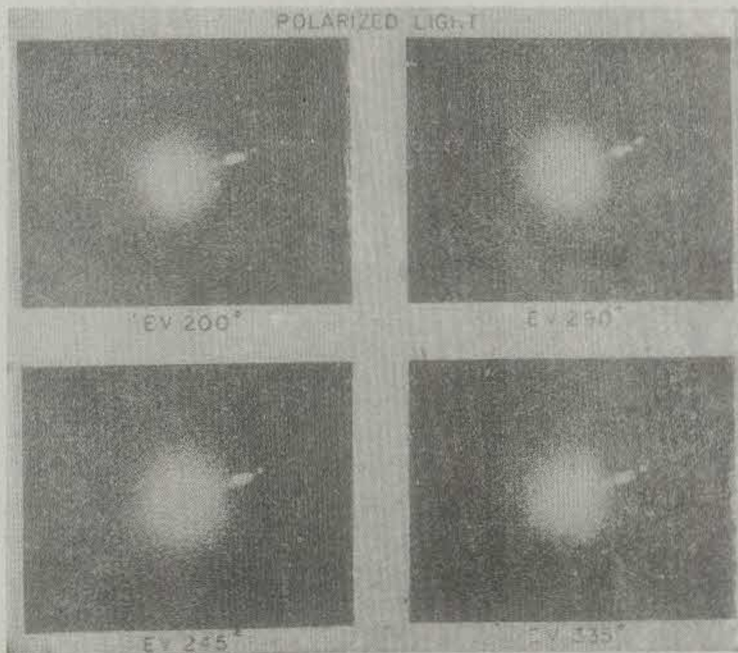
चित्र क्रमांक – 90 : सिग्नस A रेडिओ स्रोतांच्या ठिकाणी दिसलेले तारकाविश्व. येथे दोन तारकाविश्वांची टक्कर होत आहे असे प्रथम वाटले होते. आता येथे स्फोटामुळेच रेडिओ स्रोत तयार झाला असावा असा समज आहे. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



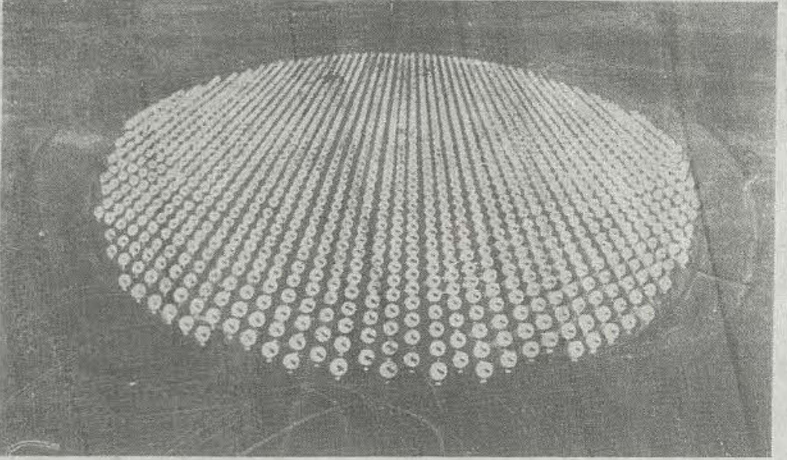
चित्र क्रमांक –91 : सेंटॉरस A हा एक स्फोटजनित रेडिओ स्रोत आहे असे त्या ठिकाणी असलेल्या वरील तारका विश्वाच्या छायाचित्रावरून स्पष्ट होते. (हेल वधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –94 : M–13 हा गोल तारकापुंज.
(रॉयल अॅस्ट्रोनॉमिकल सोसायटीच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –95 : NGC 4486 किंवा M 87 त्या तारकाविश्वातून निघणारा 'जेट' ह्या तारकाविश्वाच्या केंद्रस्थानी महाकृष्णविवर आहे असा दावा अलिकडे करण्यात आलेला आहे. (हेल वेधशाळेच्या सौजन्याने)



चित्र क्रमांक –104 : प्रॉजेक्ट सायक्लॉप्स ह्या प्रकल्पात वर दाखवल्याप्रमाणे 100 मीटर व्यासाचे जवळ जवळ एक सहस्त्र रेडिओ टेलिस्कोप अंतराळातील अतिप्रगत जीवसृष्टीकडून येणारे संदेश ग्रहण करण्यासाठी मांडण्याची योजना आहे. (NASA च्या सौजन्याने)

शासकीय मध्यवर्ती मुद्रणालय, मुंबई